

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



ESTIMACIÓN DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA  
DE GERMOPLASMA DE FRIJOL COMÚN SELECCIONADO POR RENDIMIENTO  
DE GRANO Y DAÑO POR *Macrophomina phaseolina*

**TESIS**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN  
CIENCIAS AGRÍCOLAS

PRESENTA

M.C. JESÚS GERARDO GARCÍA OLIVARES

MARÍN, NUEVO LEÓN

ABRIL 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



ESTIMACIÓN DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y FISIOLÓGICA  
DE GERMOPLASMA DE FRIJOL COMÚN SELECCIONADO POR RENDIMIENTO  
DE GRANO Y DAÑO POR *Macrophomina phaseolina*

## TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN  
CIENCIAS AGRICOLAS

PRESENTA

M.C. JESÚS GERARDO GARCÍA OLIVARES

MARÍN, NUEVO LEÓN

ABRIL 2011

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN  
CIENCIAS AGRÍCOLAS

COMITÉ PARTICULAR

---

Ph. D. FRANCISCO ZAVALA GARCÍA  
ASESOR PRINCIPAL

---

DR. ADRIANA GUTIÉRREZ DIEZ  
CO-ASESOR

---

Ph. D. CIRO G. S. VALDÉS LOZANO  
CO-ASESOR

---

Ph. D. GILBERTO SALINAS GARCÍA  
CO-ASESOR

---

DR. NETZAHUALCOYOTL MAYEK PÉREZ  
ASESOR PRINCIPAL EXTERNO

---

DR. MIGUEL ÁNGEL CANTÚ ALMAGUER  
CO-ASESOR EXTERNO

---

Ph. D. FRANCISCO ZAVALA GARCÍA  
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

MARÍN, NUEVO LEÓN

ABRIL 2011

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme salud y dicha de prepararme.

A mis hijos Jesús, Karla, Katia y mi esposa Lupita quienes les quite tiempo, esperando recompensarlo algún día.

A mis padres Alejandro (†) y Yolanda (†), con quienes compartí mis proyectos y que espero donde estén disfruten este logro académico.

A mis hermanos Mireya, Leticia, Alejandro, Jaime, Loelia, Alberto y Janeth, quienes me apoyaron para realizar esta meta.

Al CONACYT y la Universidad Autónoma de Nuevo León y particularmente a la Facultad de Agronomía por permitirme realizar mis estudios de Doctorado

Al Dr. Francisco Zavala García y al Dr. Netzahualcóyotl Mayek Pérez por su exigencia y apoyo.

A mis asesores doctores; Ciro G. S. Valdés Lozano, Adriana Gutiérrez Díez, Miguel Ángel Cantú Almaguer y Gilberto Salinas García por su importante asesoría y colaboración.

Al los M.C Ernesto López Salinas, Ing. Javier Cumpián Gutiérrez y al M.C. Reyes, Investigadores del INIFAP Veracruz y Rio Bravo, por apoyarme en esta investigación y su amistad.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz y Ing. José Luis Olivares Sáenz por su colaboración e incondicional apoyo.

A todos mis compañeros que compartimos esta aventura.

NOMBRE: JESÚS GERARDO GARCÍA OLIVARES

Nació el 24 de enero de 1956, en la ciudad de Río Bravo Tamaulipas. Radica en Prolongación Allende No. 131, Colonia 78/80, Cd. Río Bravo Tamaulipas. Cursó sus estudios de primaria en la Escuela Secretaria de Recursos hidráulicos, Secundaria en Lic. Alfredo del Mazo, en la misma ciudad, Preparatoria en General José de Escandón en Reynosa Tamaulipas. Cuso estudios profesionales en la Facultad de Agronomía de UANL en san Nicolás de los Garza Nuevo León de 1974 a 1978, obteniendo su título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista de 1992-1995, posteriormente obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola en la misma facultad en 2007. Actualmente candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas en la Subdirección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Agronomía de la UANL.

## DESARROLLO PROFESIONAL

Mi ingreso al servicio profesional inicio en 1979 como evaluador del programa de desarrollo rural “Plan Zacapoaxtla”, del Colegio de Posgraduados en Puebla, posteriormente en 1980 como Agrólogo en la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos en la Representación Tamaulipas Norte, de 1982 al 1996, en SAGARPA como Jefe de Área de Asistencia Técnica en la misma representación, De 1996 al 2000, Gerente de Insumos y Semillas del Bravo en Cd. Días Ordaz Tamaulipas, del 2000 al la fecha en el Centro de Biotecnología Geonómica del IPN como Investigador.

## PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Establecimiento de parcelas modelo de agave mezcalero en el estado de Tamaulipas y elaboración de un manual agronómico para este cultivo. DEGEPI, 2001-2000. IPN.

Selección de cepas de *Azospirillum brasilense* nativas de zonas áridas con alta capacidad de promoción de crecimiento en maíz y sorgo. DEGEPI, 2001-2002. IPN.

Diseño y validación de inoculantes basados en microorganismos benéficos y/o subproductos. DEGEPI de 2002-2003. IPN.

Interacción entre biofertilizante, hongos y sus plagas. DEGEPI de 2002-2003. IPN

Selección y aplicación de cepas nativas de zonas áridas de *Frankia* y *Azospirillum*, como biofertilizante para una efectiva reforestación en el noreste de México. DEGEPI de 2003-2004. IPN

## ARTÍCULOS PUBLICADOS

Efecto de la biofertilización con *Azospirillum brasilense* en el noreste de Tamaulipas México. Agricultura Técnica de México. 2006.

Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento de grano del maíz en Norte de Tamaulipas. Fitotecnia Mexicana. 2006.

Incidencia de hongos potencialmente toxigénico en maíz (*Zea mays* L.) almacenado y cultivado en el norte de Tamaulipas, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 2007.

Efecto de diferentes concentraciones de ácido antranílico en el crecimiento del maíz. Revista Colombiana Biotecnología. 2010.

Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento de maíz en el noreste de Tamaulipas México. Universidad y Ciencia. 2011.

## CAPÍTULOS DE LIBROS

La Biofertilización como Tecnología Sostenible Efecto de la biofertilización con *Azospirillum brasilense* en sorgo maíz en la región semiárida de Tamaulipas México. Plaza Valdés S.A. DE C.V. 2008.

Aprovechamiento Biotecnológico de Productos Agropecuarios II. Incidencia de hongos potencialmente toxigénico en maíz almacenado y cultivado en el norte de Tamaulipas, México. Plaza Valdés S.A. DE C.V. 2008.

## CONTRIBUCIÓN PROFESIONAL

Participación en levantamiento agrológico detallado en el Distrito de Riego No. 26.

Promotor técnico de paquetes de alta tecnología en siembra en los cultivos de maíz frijol y sorgo para agricultores de la zona noreste. Participe en organización de productores en la creación de fondos de aseguramiento y módulos de riego. Se ha participado en el desarrollo, promoción y evaluación de Biofertilizantes y Biofungicidas, para productores integrantes del Patronato de Investigación Fomento y Sanidad Vegetal.



# ÍNDICE

|  |       |
|--|-------|
| RESUMEN .....  | xi    |
| ABSTRACT .....   | xiv   |
| Índice de Cuadros .....  | xvi   |
| Índice de Figuras .....  | xviii |
| Índice del Apéndice .....  | xix   |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA .....                                 | 5     |
| 2.1 El frijol en México.....                                     | 5     |
| 2.2 Mejoramiento genético de frijol .....                        | 5     |
| 2.3 Factores adversos en la producción de frijol.....            | 7     |
| 2.5 Estudio del ambiente .....                                   | 9     |
| 2.5.1 Estabilidad y adaptación .....                             | 10    |
| 2.5.1.1 Conceptos de estabilidad.....                            | 11    |
| 2.5.1.2 Interacción genotipo x ambiente (IGA) .....              | 13    |
| 2.5.1.3 Medición de la IGA .....                                 | 13    |
| 2.5.1.4 Métodos de evaluación genotipo ambiente.....             | 14    |
| 2.6 Respuesta al estrés y adaptación .....                       | 17    |
| 2.6.1 Mecanismos de protección.....                              | 19    |
| 2.6.2 El estrés abiótico .....                                   | 19    |
| 2.6.2.1 Estrés hídrico .....                                     | 20    |
| 2.6.2.1.1 Cuantificación del estrés hídrico .....                | 22    |
| 2.6.2.1.2 Mecanismos de respuesta .....                          | 22    |
| 2.6.2.1.3 Respuestas fisiológicas al estrés hídrico.....         | 23    |
| 2.6.2.2 Estrés hídrico en frijol .....                           | 24    |
| 2.6.2.2.1 Selección de germoplasma .....                         | 25    |
| 2.6.3 Estrés biótico por patógenos.....                          | 26    |
| 2.6.3.1 Pudrición carbonosa en frijol.....                       | 27    |
| 2.6.3.1.1 Condiciones de infección .....                         | 28    |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS .....                                  | 30    |
| 3.1 Genotipos utilizados.....                                    | 30    |
| 3.2 Localidades de prueba.....                                   | 30    |
| 3.3 Fechas de siembras.....                                      | 31    |
| 3.4 Manejo de experimentos en campo .....                        | 32    |
| 3.5 Riegos y establecimiento de sequía .....                     | 32    |
| 3.6 Datos experimentales .....                                   | 32    |
| 3.6.1 Evaluación de daño de <i>Macrophomina phaseolina</i> ..... | 32    |
| 3.6.2 Rendimiento de grano .....                                 | 33    |
| 3.7 Análisis de datos.....                                       | 33    |
| 3.8 Análisis de estabilidad .....                                | 33    |
| 3.8.1 Análisis de estabilidad de Eberhart y Rusell (1966) .....  | 33    |

|   |    |
|---|----|
| 3.8.2 Análisis de estabilidad AMMI.....   | 35 |
| 3.8.2 Análisis Biplot .....   | 37 |
| 3.9 Selección y Evaluación de LER .....   | 37 |
| 3.9.1 Evaluación de campo de líneas avanzadas seleccionadas .....                         | 37 |
| 3.9.2 Experimentos de Laboratorio .....   | 38 |
| 3.9.2.1 Caracterización fisiológica.....  | 38 |
| 3.9.2.2 Calidad fisiológica.....  | 39 |
| 3.9.3 Análisis fisiológicos de líneas experimentales.....                                 | 40 |
| 3.9.3.1 Análisis de experimentos de campo .....   | 40 |
| 3.9.3.2 Análisis de experimentos de caracterización fisiológica .....                     | 40 |
| 3.9.3. Análisis de experimentos de calidad fisiológica .....                              | 41 |
| IV. RESULTADOS.....   | 42 |
| 4.1 Análisis de estabilidad en 16 ambientes con base en Eberhart y Rusell<br>(1966) ..... | 42 |
| 4.2 Análisis AMMI de 16 localidades de Tamaulipas y Veracruz,bMéxico.....                 | 46 |
| 4.6 Ensayos en condiciones de invernadero en Marín, Nuevo León .....                      | 56 |
| 4.6.1 Parámetros fisiológicos .....   | 56 |
| 4.6.2 Eficiencia fisiológica .....  | 59 |
| V. DISCUSIÓN .....  | 60 |
| VI. CONCLUSIONES .....  | 70 |
| VII. BIBLIOGRAFIA .....   | 72 |
| VIII. APÉNDICE.....   | 81 |

## RESUMEN

La pudrición carbonosa [*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.] es una enfermedad importante del frijol y otros cultivos particularmente en el noreste de México. El desarrollo de germoplasma resistente al hongo y adaptado a las condiciones particulares de la región, con sequía recurrente, se vislumbra como una solución en el mediano y largo plazos. Este trabajo se desarrolló en dos etapas. En la primera se compararon dos métodos de análisis de la estabilidad de la resistencia a la pudrición carbonosa y del rendimiento de grano [Eberhart y Russell (1966) y AMMI más Biplot (Burgueño *et al.*, 2001)] en 98 líneas endogámicas recombinantes (LERs) F<sub>8:10</sub> y sus progenitores (BAT-477 y Pinto UI-114). Los experimentos se establecieron en diseños de látice 10x10 con cuatro repeticiones en cuatro localidades: Isla y Cotaxtla, Veracruz y Río Bravo y Díaz Ordaz, Tamaulipas del 2007 a 2010. Dos repeticiones de cada experimento se mantuvieron bajo riego y el resto se sometió a sequía terminal a partir de la floración. La segunda etapa consistió en evaluar agronómicamente (en campo) y fisiológicamente (invernadero) cinco LERs (33, 62, 54 57 y 58) seleccionadas por alto rendimiento de grano y menor severidad de *M. phaseolina* en Veracruz y Tamaulipas junto con los progenitores y tres testigos regionales (Pinto Anzaldúas, Negro Michigan y Pinto San Juan). Los dos experimentos de campo se desarrollaron en Río Bravo y Díaz Ordaz en 2009 en diseños de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y en condiciones de riego. En invernadero (Marín, Nuevo León) se estudiaron algunas variables fisiológicas (relaciones hídricas, fotosíntesis, estomas) y la 'calidad fisiológica' durante 2010. Para la medición de variables fisiológicas las plantas se mantuvieron con humedad en el suelo a capacidad de campo hasta el inicio de la formación de vainas y luego se sujetaron a sequía (50% de humedad en el suelo hasta la cosecha). Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con tres repeticiones, con dos plantas por unidad experimental. Para la evaluación de la calidad fisiológica se estimaron números de estomas y la respuesta del germoplasma a dos temperaturas (30 y 40 °C) de incubación. El

germoplasma se estableció en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial en parcelas divididas y una planta por unidad experimental. Para el caso de la primer etapa del trabajo, el análisis de varianza (ANVA) indicó diferencias significativas entre ambientes y genotipos, así como efectos de interacción G x A (IGA). El análisis de estabilidad del rendimiento de grano y de la reacción a pudrición carbonosa indicó que la mayor proporción de genotipos mostró buena respuesta en ambientes desfavorables, seguidos de los estables o sin interacción y, finalmente, genotipos con mejor respuesta a ambientes favorables. El ANVA con el modelo AMMI del rendimiento de grano y la severidad de la pudrición carbonosa mostró que las fuentes de variación del modelo aportaron alrededor de 49% de la suma de cuadrados del total y el ACP con la suma de cuadrados de la IGA los valores principales del primer componente (CP1) fueron cercanos a 0 ( $IGA = 0$ ) y considerados estables. Con este comportamiento, para rendimiento de grano se detectaron 13 LERs; mientras que en el CP2 se ubicaron nueve. Para la reacción a pudrición carbonosa en el CP1 se detectaron 14 LERs y en el CP2 ocho. El análisis Biplot mostró un gráfico dividido en seis sectores para reacción a *M. phaseolina* y en cinco para rendimiento de grano. Los ambientes con vectores de mayor longitud (Díaz Ordaz, riego y temporal 2008) presentaron los mayores rendimientos de grano y fueron más variables; mientras aquellos con menor consistencia (Isla, temporal 2007; Río Bravo, temporal y riego 2008) mostraron rendimientos bajos y fueron menos variables. En la segunda etapa se detectaron diferencias significativas entre localidades, genotipos y la interacción. Los mayores rendimientos de grano los presentaron la LER 33 y Pinto San Juan (Río Bravo) y BAT-477 y las LERs 54 y 57 (Díaz Ordaz). En promedio, las LERs 33 y 62; BAT-477 y Negro Michigan mostraron los mayores rendimientos. En invernadero, Pinto Anzaldúas y la LER 58 exhibieron mayor tasa de fotosíntesis; mientras que mayor tasa transpiratoria se observó en Pinto San Juan en condiciones de riego, así como mayor número de estomas por hoja; Pinto Anzaldúas presentó mayor acumulación de biomasa foliar. En resumen, el germoplasma evaluado mostró respuesta diferencial en rendimiento de grano y reacción a *M. phaseolina* entre localidades, años de

evaluación y condiciones de humedad, así como interacción genotipo x ambiente. El análisis con los modelos AMMI más Biplot y el de estimación de parámetros de estabilidad son complementarios y ofrecen información para seleccionar germoplasma estable, con altos rendimientos de grano y resistencia a pudrición carbonosa. Finalmente, se determinó que una LER 58 superó a los testigos regionales en rendimiento de grano, reacción a *M. phaseolina* y comportamiento fisiológico que la convierte en un genotipo promisorio para su posterior registro y liberación como germoplasma apto para las condiciones agro-ecológicas de la región de estudio.

## ABSTRACT

Charcoal rot [*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.] is an important disease of beans and other crops, particularly in northeastern México. The development of fungus resistant germplasm adapted to the conditions of the region, recurrent drought, is seen as a solution in the medium and long term. This work was conducted in two stages. In the first one, two methods of stability are compared analyzing the resistance to charcoal rot and grain yield [Eberhart and Russell (1966) and AMMI plus Biplot (Burgueño *et al.*, 2001)] in 98 recombinant inbred lines (RELs)  $F_{8:10}$  and their parents (BAT-477 and Pinto UI-114). The experiments were planted in 10 x10 lattice design with four replications at four locations: Isla and Cotaxtla, Veracruz and Rio Bravo and Diaz Ordaz, Tamaulipas from 2007 to 2009. Two repetitions of each experiment were kept under irrigation and the other two were subjected to terminal drought after flowering. The second stage was to evaluate agronomic (field) and physiologically (greenhouses) of the five RELs (33, 62, 54 57 and 58) selected for high grain yield and lower severity of *M. phaseolina* in Veracruz and Tamaulipas along with the parents and three regional controls (Pinto Anzaldúas, Negro Michigan and Pinto San Juan). Two field experiments were carried out also with these ten genotypes in Rio Bravo and Diaz Ordaz in 2008 y 2009 using a randomized complete block design with four replications under irrigation. In the greenhouse (Marín, Nuevo León) were studied physiological variables (water relations, photosynthesis, stomata) and 'physiological quality' in 2010. For the measurement of plant physiological variables were maintained soil moisture at field capacity until the beginning of pod formation and then subjected to drought (50% moisture in the soil to harvest). The treatments were arranged in a completely randomized design with three replicates with two plants per experimental unit. To evaluate the physiological quality were estimated numbers of stomata and under two temperatures (30 and 40 °C) of incubation. In this experiment, the germplasm was established under a randomized complete block design with split plot factorial arrangement and one plant per experimental unit. In the case of the first stage of the study, analysis of variance (ANOVA) indicated significant differences between environments and

genotypes, as well as effects of interaction G x A (GEI). Stability analysis of grain yield and reaction to charcoal rot indicated that around 50 % of genotypes showed a good response to unfavorable environments, followed by stable or no interaction. AMMI model for grain yield and severity of charcoal rot showed that the variation of the sources contributed about 49% of the total sum of squares. ACP using the sum of squares of the IGA core values showed a stable genotype to those with the first and two component (PC1 and PC2) close to 0 (IGA = 0). Thirteen RELs showed this behavior for grain yield; while in the CP2 were nine. For the reaction to charcoal rot were detected in 14 RELs CP1 and CP2 eight. Biplot analysis showed a chart divided into six sectors for reaction to *M. phaseolina* and five for grain yield. Environments with longer vectors (Díaz Ordaz under drought and irrigation in 2008) had the highest grain yields and they were more variable, while those with short vectors (Isla under drought and irrigation in 2007, and Rio Bravo, under drought and irrigated in 2008) which showed low yields. In the second stage, significant differences were shown among locations, genotypes and the interaction. The highest grain yields were for RELs 33 and Pinto San Juan in Rio Bravo and BAT-477 and RELs 54 and 57 for Diaz Ordaz. On average, RELs 33 and 62, BAT-477 and Negro Michigan showed the highest yields. In the greenhouse, Pinto Anzaldúas and REL 58 exhibited higher photosynthetic rates, while higher transpiration rate was observed in Pinto San Juan under irrigation; the greater number of stomata per mm<sup>2</sup> leaf was for Pinto Anzaldúas with the higher leaf biomass accumulation. In summary, the germplasm evaluated showed differential response in grain yield and response to *M. phaseolina* between locations, years of evaluation and humidity conditions, as well as genotype x environment interaction. The AMMI analysis plus Biplot models and parameter estimation of stability are complementary and provide information to select germplasm stable, with high grain yields and resistance to charcoal rot. Finally, it was determined that the 58 REL exceeded regional controls on grain yield, reaction to *M. phaseolina* and physiological behavior that makes it a promising genotype for subsequent registration and release as germplasm suitable for agro-ecological conditions of the study area.

## Índice de Cuadros

| Cuadro | Título  | Pagina |
|--------|---|--------|
| 1      | Características de los sitios experimentales donde se establecieron los 18 experimentos con 98 líneas y 2 progenitores de frijol bajo riego y sequia terminal mas dos experimentos de líneas seleccionada bajo riego..... | 32     |
| 2      | Cuadrados medios del análisis de varianza y de parámetros de estabilidad del rendimiento y la severidad de la pudrición carbonosa de 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Veracruz y Tamaulipas, México.....  | 45     |
| 3      | Cuadrados Medios del análisis de varianza combinado del rendimiento de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México.....  | 49     |
| 4      | Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de la severidad de la pudrición carbonosa en 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México.....                                      | 52     |
| 5      | Cuadrados medios del rendimiento de grano y la severidad de la pudrición carbonosa de germoplasma de frijol cultivado en Veracruz 2007 y Tamaulipas 2008 bajo dos condiciones de humedad.....                             | 57     |
| 6      | Cuadrados medios del análisis de varianza combinado del rendimiento de grano de diez genotipos de frijol cultivados en dos experimentos en el norte de Tamaulipas 2009.....   | 59     |
| 7      | Promedios del rendimiento de grano de diez genotipos de frijol cultivados en localidades del norte de Tamaulipas 2009.....  | 59     |



|    |   |    |
|----|---|----|
| 8  | Cuadrados medios del análisis de varianza de variables fisiológicas de diez Genotipos de frijol común.....  | 60 |
| 9  | Comparación de medias para las variables de eficiencia fisiológica peso seco de hojas de genotipos de frijol común.....   | 61 |
| 10 | Comparación de medias de la interacción riego-sequia de las variables transpiración y número de estomas en riego y sequia, de LERs progenitores y variedades comerciales de frijol común..... | 62 |
| 11 | Cuadrados medios de análisis de varianza de eficiencia fisiológica para peso de hoja, tallo, raíz y altura de planta de genotipos, bajo dos condiciones de humedad.....                       | 63 |

## Índice de Figuras

| Figura | Título  | Pagina |
|--------|---|--------|
| 1      | Líneas de regresión promedios ( $B_1 = 1$ , $B_1 \geq 1$ y $B_1 \leq 1$ ) para cada uno de los grupos utilizando rendimiento de grano de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México.....  | 47     |
| 2      | Líneas de regresión promedios ( $B_1 = 1$ , $B_1 \geq 1$ y $B_1 \leq 1$ ) para cada uno de los grupos utilizando la severidad de la Pudrición carbonosa de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México....   | 48     |
| 3      | Análisis gráfico de interacción multiplicativa de efectos principales aditivos de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México. A) Componente principal uno (CP1) y B) componente principal dos (CP2) en relación con medias de productividad ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ).....            | 51     |
| 4      | Análisis gráfico de interacción multiplicativa de efectos principales aditivos de 100 genotipos de frijol en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México. A) Componente principal uno (CP1) y B) componente principal dos (CP2) con relación a las medias de severidad de la pudrición carbonosa..... | 53     |
| 5      | Gráfico Biplot de 16 ambientes de 100 genotipos de frijol para rendimiento de grano (a) y reacción a la pudrición carbonosa (b).....  | 55     |
| 6      | Relación entre la severidad de la Pudrición carbonosa y del rendimiento de 100 LERs de frijol común en ocho ambientes de Veracruz y Tamaulipas, México.....   | 57     |

## Índice del Apéndice

| Cuadro | Titulo   | Pagina |
|--------|--|--------|
| 1A     | Estados productores y producción de frijol en México (Toneladas).....  | 85     |
| 2A     | Significado de los parámetros de estabilidad obtenidos por la metodología de Eberhart y Russell propuestos por Carballo y Márquez (1970).....  | 86     |
| 3A     | Parámetros de estabilidad de acuerdo al modelo de Eberhart y Russell ( $B_1$ y $S^2_{di}$ ) de 98 líneas y dos progenitores de frijol, para la variable rendimiento de grano en 16 ambientes de Veracruz (ocho) y Tamaulipas (ocho)..... | 87     |
| 4A     | Parámetros de Eberhart y Rusell $B_1$ y $S^2_{di}$ de 98 líneas y 2 progenitores de frijol, para severidad de daño de la pudrición carbonosa. en 16 ambientes de Veracruz(ocho) y en Tamaulipas (ocho).....                              | 90     |
| 5A     | Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y la severidad de la pudrición carbonosa de parámetros de estabilidad de 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Veracruz y Tamaulipas, México.....                  | 93     |
| 6A     | Análisis de varianza del rendimiento de parámetros de estabilidad de 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Veracruz México.....   | 96     |

## I. INTRODUCCIÓN

En el noreste de México la agricultura se desarrolla en unidades de producción que frecuentemente tienen superficies mayores de 100 ha y se limitan al cultivo del maíz (*Zea mays*) y sorgo [*Sorghum bicolor* (L). Moench], en ellas se utilizan altas cantidades de fertilizantes nitrogenados, fosfóricos y otros agroquímicos. El alto uso de estos productos eleva los costos de producción y empobrece la tierra. Una alternativa productiva para esta región es la diversificación de los cultivos incluyendo especies como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), canola (*Brassica napus* L.) y cártamo (*Carthamus tinctorius*) durante el ciclo agrícola Primavera Verano o tardío, ya que la mayor parte de las 800,000 ha cultivables en la región no se han sembrado en dicho ciclo en los últimos 20 años agrícolas, principalmente por la falta de riego; la siembra durante este ciclo agrícola tendría beneficios productivos y nutricionales al aprovecharse en forma más eficiente las áreas cultivables.

Independientemente del ciclo agrícola, el factor más limitante es la sequía, ya que además de provocar efectos detrimentales directos, es un factor que promueve la presencia de otros factores que también actúan como limitantes de la producción, tales como las enfermedades radiculares como *Fusarium* spp y *Macrophomina phaseolina* (Mayek-Pérez *et al.*, 2002) entre otras.

Una forma de mejorar las condiciones de productividad de las tierras es a través del uso de genotipos adaptados, los cuales pueden ser seleccionados o identificados en base a su estabilidad. El análisis de estabilidad, así como la caracterización

agronómica y fisiológica de genotipos de frijol común bajo déficit hídrico, se pueden aprovechar en el mejoramiento genético ya que estas condiciones alteran los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas; así como el crecimiento, desarrollo y productividad.

Existen diferentes herramientas para el análisis de estabilidad de los genotipos que han utilizado en forma más eficiente el análisis que permite describir e interpretar mejor los efectos de la interacción  $G \times A$  (Gauch y Furnas, 1991). Una de las herramientas mas comunes para evaluar genotipos y ambientes es el modelo descrito por Eberhart y Russell (1966), el cual se ha combinado con modelos como el AMMI (modelo con efectos principales aditivos y de interacción) donde se combina el análisis de los efectos de la interacción multiplicativa y el de los efectos aditivos (Gauch y Zobel, 1996) y el BILOT que ayudan a mejorar la interpretación de la interacción en forma más descriptiva. El mejor entendimiento de la interacción genotipo-ambiente y la mayor precisión en la estimación del rendimiento de grano y de la reacción a las enfermedades hacen de estos modelos herramientas útiles en los programas de mejoramiento genético.

Por lo anterior, la presente investigación persigue los siguientes:

## I.1 OBJETIVOS

1. Comparar los modelos de estabilidad de Eberhart y Rusell (1966), AMMI (Gauch y Zobel, 1996) y el BIPLLOT para caracterizar la estabilidad del rendimiento de grano y la resistencia a pudrición carbonosa en LERs de frijol común.
2. Evaluar agronómica y fisiológicamente LERs de frijol común seleccionadas por rendimiento de grano y menor severidad del daño causado por *Macrophomina phaseolina*.

## I.2 HIPÓTESIS

1. Existen líneas endogámicas recombinantes de frijol, derivadas de la cruce entre BAT-477 y Pinto UI-114, con resistencia combinada a *M. phaseolina* y alto rendimiento de grano, los cuales están asociados a la respuesta de estabilidad que presentan estos genotipos.
2. Algunos caracteres morfológicos y fisiológicos determinan la mayor parte de la reacción al ataque de *M. phaesolina* y el rendimiento de grano en condiciones de sequía terminal en frijol común.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El frijol en México**

En México, la mayor parte de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se obtiene en los estados de Zacatecas, Puebla, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit, Guanajuato, Chiapas, San Luis Potosí y Durango, estos últimos dos estados producen el 40% de la producción nacional (Cuadro 1A). En Sinaloa, se producen principalmente frijoles azufrados; en Chihuahua y Durango frijoles pintos; Durango, Zacatecas, Oaxaca y Chiapas se siembra frijol negro y en San Luis Potosí y Guanajuato predominan los frijoles flor de mayo y flor de junio. Al agrupar el consumo por región, el noroeste consume en mayor medida azufrados; en el norte se consumen pintos y flores de mayo; en el centro, flores de mayo y negros, en tanto que en el sureste predomina el consumo de las variedades con grano negro.

### **2.2 Mejoramiento genético de frijol**

En México, el mejoramiento genético del frijol común inició en 1943 con la colecta de germoplasma nativo y, posteriormente, las primeras variedades genéticamente mejoradas se desarrollaron a partir de variedades criollas sobresalientes. Posteriormente, se realizó recombinación entre el germoplasma nativo y el germoplasma exótico. De 1943 al 2000, el Programa de Mejoramiento Genético del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México, entidad dedicada a la investigación y desarrollo tecnológico en frijol en el



país, ha desarrollado y liberado más de 120 variedades mejoradas de frijol común para todas las áreas productoras del país.

La base genética del frijol común de México se ha ampliado constantemente a través de la utilización de progenitores genéticamente contrastantes en los bloques de cruzamientos de los programas de mejoramiento genético de la especie (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000). El mejoramiento del frijol se ha enfocado principalmente al desarrollo de variedades con alto rendimiento de grano y resistencia a patógenos causantes de enfermedades; sin embargo, la demanda de los consumidores ha motivado el desarrollo de variedades con mayor calidad nutrimental y de cocción. La existencia de variabilidad genética para el tiempo de cocción, la capacidad de absorción de agua (factor que en algunos casos es indicador del tiempo de cocción), el contenido de proteínas y de almidón en la semilla de diferentes variedades de frijol (Jacinto *et al.*, 1993) sugieren que, a través del mejoramiento genético, es posible obtener frijol con la calidad deseada del grano. La creación de variedades resistentes o tolerantes a condiciones climáticas extremas ha permitido incrementar la producción en dichas condiciones y a la vez, se ha extendido el cultivo en algunas regiones en las que era imposible o antieconómico su cultivo.

En México, a pesar de varias décadas de investigación, la sequía sigue siendo la principal limitante de los rendimientos del frijol (Acosta *et al.*, 1998). Por ejemplo, en la zona noreste la sequía es una amenaza constante para los agricultores debido a que la siembra de frijol se realiza en el ciclo de tardío bajo condiciones de temporal. El mejoramiento para adaptación a la sequía, con base en rendimiento de grano de

los cultivos como lo realizado en frijol, entre otras especies, se lleva a cabo en generaciones intermedias o avanzadas de poblaciones segregantes derivadas de cruzamientos de progenitores contrastantes ya que el rendimiento de grano bajo sequía es controlado por la acción de genes con efectos aditivos (Kornega *et al.*, 1997) y su heredabilidad va de moderada a baja (Schneider *et al.*, 1997). La utilización de esta estrategia ha permitido evaluar materiales derivados de líneas recombinantes para generar materiales resistentes a enfermedades y a sequía.

Las variedades más comúnmente sembradas que se han registrado y liberado a nivel nacional para las condiciones de temporal son: Pinto Villa, Pinto Mestizo, Pinto Bayacora, Negro Altiplano, Negro Sahuatoba, Negro Durango, Bayo Victoria y Azufrado Namiquipa, Pinto Zapata Pinto saltillo y Flor de Mayo (Acosta *et al.*, 1998), las cuales muestran diverso hábitos de crecimiento, ciclo biológico o color del grano (Rosales-Serna *et al.*, 2003).

### **2.3 Factores adversos en la producción de frijol**

La producción de frijol común se ve afectada por diversos factores bióticos (enfermedades, plagas insectiles, malezas) y abióticos (salinidad o acidez del suelo, altas o bajas temperaturas, déficit hídrico) que ocasionan estrés en el cultivo. Entre los hongos que infectan a la planta de frijol y que además ocasionan importantes pérdidas en la producción destaca *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid, hongo cuyo crecimiento es favorecido por el estrés ambiental producido por la sequía y las altas temperaturas, condiciones particularmente frecuentes en la producción del frijol

común en el Norte y el Altiplano semiárido de México (Mayek-Pérez *et al.*, 1999). Existen otros hongos que provocan pudriciones de la raíz del frijol tales como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium* y *Pythium*; de estos, el género *Fusarium* es uno de los más diversos y complejos. *F. oxysporum* y *F. solani* son las especies más comúnmente reportadas y estudiadas como patógenas en el frijol. Otras enfermedades fúngicas son la mancha angular (*Phaseoisariopsis griseola*), antracnosis (*Glomerella lindemuthiana*), roya (*Uromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*), mancha foliar (*Ascochyta boltshauseri* y *A. phaseolorum*) y el moho blanco (*Sclerotinia sclerotiorum*); mismas que causan enormes pérdidas en los cultivos de frijol común a nivel mundial (Beebe y Pastor-Corrales, 1991).

## **2.4 Estrategias de mejoramiento de la adaptación en frijol**

En el mejoramiento genético de las plantas cultivadas se aplican numerosos métodos para evaluar y aprovechar al máximo la variación natural o bien, para producirla y seleccionar las plantas resistentes a enfermedades y/o con mayor productividad. Existe una gran diversidad de variedades de frijol obtenidas a través de diferentes métodos de mejoramiento, donde se han logrado avances en cuanto a la adaptación y otras características agronómicas importantes. Sin embargo, en muchos casos estas variedades provienen de líneas que se seleccionan en ambientes diferentes a su hábitat definitivo, o específicos lo cual tiene un riesgo en su adaptabilidad a las áreas definitivas de siembra o más amplias. Por ello, en los programas de fitomejoramiento de este cultivo se busca seleccionar genotipos que se comporten bien en un amplio rango de ambientes.

Aunado a lo anterior se debe considerar que existe una gran diversidad de áreas agroecológicas en el país, por lo que se hace necesario seleccionar germoplasma que combine no sólo buenas características agronómicas y altos rendimientos de grano sino también adaptación general a estas zonas. Una de las vías para detectar estos genotipos es a través de los estudios de la estabilidad de rendimiento, por lo que el éxito de los programas de mejoramiento dependerá del conocimiento sobre la diversidad genética a utilizar y la habilidad para incorporarla en las cruas, para así lograr una mayor y sostenida ganancia genética para todos los caracteres de valor agronómico (Singh *et al.*, 2001).

## **2.5 Estudio del ambiente**

El ambiente se define como todas las circunstancias de origen no genético que afectan el valor fenotípico de un individuo. El ambiente está determinado por una serie de condiciones variables a través del tiempo en un mismo lugar y para diferentes lugares en un mismo año. Por lo tanto, es necesario repetir las pruebas de adaptación tantas veces como sea posible, a fin de apreciar las reacciones de cierto cultivo al ambiente. La mayoría de las veces el potencial productivo de los cultivos se reduce por efecto de las condiciones ambientales adversas que se presentan durante el ciclo vegetativo. Por lo tanto, es necesario incorporarles fuentes de resistencia que amortigüen los efectos de tales factores.

El concepto de ambiente fue ampliamente discutido por Allard (1967) quien lo expresa como la suma de todas las condiciones externas que afectan al crecimiento

y el desarrollo de un organismo. Para Lin y Binns (1986) el efecto ambiental sobre un genotipo depende del suelo y de las condiciones atmosféricas. Para estos investigadores el suelo permanece casi constante de año en año y puede considerarse como un efecto fijo. El caso de las condiciones climáticas es más complejo, porque tiene una parte persistente representada por la zona climática y una parte no predecible representada por la variación climática anual. Por ello, el mayor rendimiento de las plantas depende de su potencialidad genética y de su capacidad para aprovechar mejor los factores del ambiente (agua, energía solar, sustancias nutritivas, etc.); es decir, su adaptación al medio; por tal razón, la expresión de que el Rendimiento = expresión fenotípica = Genotipo + Ambiente + Interacción entre Genotipo y Ambiente ayuda a explicar en forma clara la expresión de cualquier carácter de la planta.

### **2.5.1 Estabilidad y adaptación**

La adaptabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos para aprovechar ventajosamente los estímulos del ambiente, mientras que la estabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos para mostrar un comportamiento altamente previsible en función del estímulo ambiental. En la estabilidad fenotípica se complementan el punto de vista estadístico, biológico y agronómico. Allard y Hansche (citados por Márquez, 1991) definen a una variedad estable como una variedad con capacidad de amortiguamiento, que para el caso de variedades agrícolas significaría ajustar su rendimiento a las condiciones ambientales imperantes. Resalta el hecho de que el término adaptabilidad se entiende como la capacidad para responder a la selección,

lo que implica la variabilidad genética; así, una población genotípicamente heterogénea será adaptable a diferentes ambientes. Los mecanismos genéticos que operan en la producción de la estabilidad espacial son la diversidad genética, heterocigosis, plasticidad genotípica y poliploidía. En general, se ha aceptado que a mayor variabilidad genética de una especie, mayor será su estabilidad a través de ambientes.

#### **2.5.1.1 Conceptos de estabilidad**

Diferentes conceptos y definiciones de estabilidad se han descrito en los últimos años. Por ejemplo, Lin *et al.* (1986) identifican tres conceptos de estabilidad:

Tipo 1: Un genotipo es estable si su varianza entre ambientes es pequeña. Becker y León (1988) llamaron a esta estabilidad un concepto estático o biológico de estabilidad. Un genotipo estable posee un rendimiento sin cambios independientemente de cualquier variación de las condiciones ambientales. Este concepto de estabilidad es útil para los rasgos de calidad y de resistencia a enfermedades.

Tipo 2: Un genotipo es estable si su respuesta a los ambientes es paralela a la respuesta media de todos los genotipos en el ensayo. Becker y León (1988) llamaron a este concepto de estabilidad “dinámica o agronómica de la estabilidad”. Un genotipo no tiene desviaciones con respecto a la respuesta general a los ambientes y por lo tanto permite una respuesta previsible a los ambientes. El coeficiente de

regresión ( $B_1$ ) (Finlay y Wilkinson, 1963) y la varianza ( $\sigma^2$ ) de estabilidad (Shukla, 1972) pueden utilizarse para medir la estabilidad del tipo 2.

Tipo 3: Un genotipo es estable si los residuales del modelo de regresión con el índice medio del ambiente es pequeño. El índice del ambiente implica el rendimiento medio de todos los genotipos en cada lugar menos la media general de todos los genotipos en todos los lugares de prueba. El tipo 3 es también parte de la dinámica o el concepto de estabilidad agronómica (Becker y León, 1988). Los métodos para describir la estabilidad del tipo 3 son los de Eberhart y Russell (1966) y Perkins y Jinks (1968). Becker y León (1988) indicaron que todos los procedimientos de medición de la estabilidad basada en la cuantificación de los efectos del Interacción Genotipo X Ambiente pertenecen al concepto dinámico.

Por su parte, Lin y Binns (1988) definen cuatro conceptos estadísticos de estabilidad. Con base en los resultados de los análisis de varianza (ANVA) de un ensayo de variedades, un genotipo se considera estable:

1. Si su varianza entre ambientes es pequeña. Importante cuando se tiene muchos ambientes desfavorables.
2. Si su respuesta a los ambientes es paralela al promedio de las respuestas de todos los genotipos de la prueba. Concepto preferido por el fitomejorador.
3. Si la suma de cuadrados del residual de la regresión sobre el índice ambiental es pequeño. Tipo propuesto por Eberhart y Russell (1966).

4. Si su cuadrado medio dentro de ambientes (su variabilidad para cualquier ambiente en diferentes años), es pequeña.

#### **2.5.1.2 Interacción genotipo x ambiente (IGA)**

Cuando la expresión de una característica es controlada por pocos genes, su interacción genotipo por ambiente (IGA) no es una fuente importante de varianza, mientras que cuando un carácter está gobernado por varios loci con pequeños efectos y muestra varianzas aditivas, dominantes y epistáticas (herencia cuantitativa), la IGA adquiere mayor importancia. Se sabe que varios tipos de efectos de los genes interactúan con el ambiente para afectar la expresión de su fenotipo. En el mejoramiento de plantas, las consideraciones sobre la IGA son esenciales para la eficiencia del proceso selectivo, debido a que la mayoría de los caracteres de importancia en el mejoramiento son caracteres métricos. Estos caracteres presentan distribución continua, poseen herencia poligénica y son influenciados significativamente por las variaciones del ambiente.

#### **2.5.1.3 Medición de la IGA**

El efecto de la heterogeneidad y la heterocigosis es variable entre especies. Algunas diferencias inter-específicas de dichos efectos se han observado en frijol, maíz, sorgo y otras especies vegetales. Una variedad puede estar compuesta por un número de individuos diferentes, cada una adaptada a un rango diferente de ambientes (amortiguamiento poblacional), o puede estar conformada por individuos



semejantes pero cada uno adaptado a un rango de ambientes (amortiguamiento individual). Falconer (1952) definió estas dos formas de IGA como cualitativos (cambios de lugar) y cuantitativos (diferencias absolutas entre genotipos). La evaluación de genotipos a través de distintos ambientes, principalmente en ambientes contrastantes, es una de las prácticas más usuales para la recomendación de nuevos materiales genéticos a los productores de una región o zona específica. La IGA es de gran importancia en la evaluación de híbridos desarrollados para diferentes circunstancias de producción. Por tanto, es necesario integrar los conceptos de adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes.

#### **2.5.1.4 Métodos de evaluación genotipo ambiente**

Los métodos de evaluación de genotipos en los cuales se realiza una descomposición de la IGA son útiles para identificar genotipos estables (Shukla, 1972). Diferentes metodologías se han desarrollado para estimar los parámetros de estabilidad y deducir el grado de la estabilidad de los materiales evaluados. Estos métodos se han utilizado frecuentemente en garbanzo (*Cicer arietinum*), haba (*Vicia faba*) y frijol (Fikere *et al.*, 2008; Fikere *et al.*, 2009; Padilla *et al.*, 2008 y Tamkoc *et al.*, 2009)

Yates y Cochran (1932) fueron pioneros en la medición de la estabilidad del rendimiento y utilizaron como parámetros de estabilidad los coeficientes de regresión del rendimiento de cada genotipo vs. los índices ambientales, descomponiendo la

IGA en los componentes lineales y no lineales. En 1963, Finlay y Wilkinson retoman la técnica de la regresión usando transformaciones logarítmicas para asegurar así la linealidad de la regresión y una mayor homogeneidad del error experimental. Ellos consideran como una variedad con estabilidad promedio aquella que presenta un coeficiente de regresión igual a la unidad ( $B_1 = 1$ ). Por su parte, Eberhart y Russell (1966) proponen como parámetros de estabilidad el coeficiente de regresión ( $B_i$ ) y la desviación de la regresión ( $S^2_{di}$ ). Consideran a una variedad estable cuando muestra  $B_1 = 1$  y  $S^2_{di} = 0$ ; otras consideraciones de valores para estos parámetros indicaran genotipos inestables. Eberhart y Russell (1966) propusieron el modelo de regresión lineal para el estudio de la adaptabilidad fenotípica de genotipos ampliamente utilizados.

Tai (1971) desarrollo una metodología para estimar la estabilidad del rendimiento similar a la ideada por Eberhart y Russell (1966) dado que ambos análisis intentan determinar la respuesta lineal de un material genético a los efectos ambientales. Los métodos de Eberhart y Russell (1966) y de Tai (1971) proporcionan información sobre la relación lineal que existe entre el rendimiento de los genotipos y la medida de los efectos ambientales; asimismo, detectan y miden la dispersión alrededor de la línea de regresión; es decir, miden la respuesta del rendimiento y su estabilidad. De estos dos métodos, el de Eberhart y Russell (1966) ha sido el más frecuentemente utilizado en la determinación de la estabilidad del rendimiento en diferentes cultivos, por ser más sencillo e informativo que el de Tai (1971) (Jowett *et al.*, 1972).

Los métodos estadísticos multivariados son igualmente apropiados para analizar matrices de dos dimensiones, como las que contienen datos de genotipos y ambientes. Existen dos grupos de técnicas multiparamétricas: las técnicas de ordenación tales como el análisis de componentes principales y el análisis factorial y las técnicas de clasificación, como el análisis de grupos y el análisis discriminante (Cubero y Flores, 1994). El análisis de componentes principales (ACP) es uno de los métodos multivariados más utilizados y de los más antiguos. En esencia, el ACP trata de simplificar la estructura de los datos para poder explicar con pocos componentes la mayor proporción de la información que contienen las variables. Es útil tanto para la caracterización de condiciones ambientales como para la clasificación de variedades por estabilidad del rendimiento.

Un modelo alternativo para analizar la IGA es el modelo de interacción multiplicativa y de efectos principales aditivos o AMMI ('Additive Main Effects and Multiplicative Interaction') descrito por Crossa *et al.* (1990). Este modelo es un caso particular del ACP (Gauch, 1991). El modelo AMMI integra algunos modelos estadísticos comúnmente aplicados al análisis de series de ensayos de rendimiento, donde los efectos principales correspondientes a la parte aditiva son analizados mediante el ANVA. La parte no aditiva (interacción) corresponde a la parte multiplicativa del modelo y esta se analiza con el ACP (Zobel, *et al.*, 1988 y Gauch y Zobel, 1996). En síntesis, el modelo AMMI combina el ANVA y el ACP en un solo modelo aditivo para los efectos principales de genotipos y ambientes y multiplicativo para los efectos de IGA. El modelo AMMI se combina con el análisis gráfico "Biplot alternativo" y pueden ser analizados en forma conjunta (AMMI mas el Biplot alternativo), o solamente el

grafico “Biplot”. Para el primero se grafican en forma separada el CP1 y el CP2 utilizándolos en el eje de las ordenadas y con la media del rendimiento o severidad por el daño causado por enfermedad en el eje de las abscisas; o bien se puede generar un grafico con los efectos de los dos componentes (CP1 y CP2); sin embargo, para el caso del Biplot se grafica en uno solo, donde cada genotipo se representa por un punto o marcador definido al graficar los coeficientes de cada genotipo en el CP1 (eje de las abscisas) contra los respectivos coeficientes en el CP2 (eje de las ordenadas). Los ambientes se presentan como vectores que se originan en la coordenada (0, 0) del “Biplot” y se extienden hasta el marcador correspondiente. Los marcadores de los genotipos más alejados en el espacio bidimensional están conectados mediante líneas rectas y configuran los vértices de un polígono. Estos genotipos vértice son los que más aportan a la interacción, es decir, los de más alto y más bajo rendimiento. La principal dificultad del estudio de la IGA atribuida a este método consiste en la interpretación de los componentes principales extraídos, ya que puede ocurrir que estos no muestren ninguna relación directa con las condiciones ambientales.

## **2.6 Respuesta al estrés y adaptación**

Las respuestas al estrés y la adaptación a los factores ambientales adversos en las plantas involucran la acción de diferentes mecanismos de percepción y señalización. Dichos mecanismos llevan al final a la expresión diferencial de genes así como a modificaciones en los patrones de crecimiento y desarrollo. El término estrés refleja la magnitud de presión ambiental que obliga al cambio en la fisiología de una planta.

Levitt (1980) definió al estrés como cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos; sin embargo, es difícil distinguir entre aquellas respuestas que repercuten negativamente en la planta y aquellas que poseen un efecto benéfico, ya que algunos factores pueden tener ambos efectos simultáneamente (Nilsen y Orcutt, 1996). Otros autores definen al estrés como cualquier factor ambiental biótico o abiótico que reduce la tasa de cambio u ocurrencia de algún proceso fisiológico. El estrés es el conjunto de respuestas bioquímicas o fisiológicas que definen un estado particular del organismo diferente al observado bajo un rango de condiciones óptimas. La resistencia al estrés se define como la capacidad de un organismo para resistir, evitar y escapar a los estímulos ambientales bióticos o abióticos. El estrés se identifica como una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida. Desde un punto de vista biológico el estrés tiene una connotación más amplia, refiriéndose a los cambios ambientales que alteran al estado fisiológico de las plantas (Larcher, 1995). Estos cambios pueden clasificarse en físicos, químicos y bióticos, siendo los dos primeros agrupados bajo el término de “estreses abióticos”. Entre los factores físicos se pueden mencionar el estrés por déficit o exceso de agua, altas o bajas temperaturas y la radiación ultravioleta (UV). Entre los factores químicos son ampliamente estudiados la contaminación atmosférica, metales pesados, toxinas, salinidad, etc. Finalmente, entre los factores bióticos pueden mencionarse la competencia, la alelopatía y el ataque de patógenos.

### **2.6.1 Mecanismos de protección**

Los organismos fotosintéticos han desarrollado mecanismos de protección para evitar y disminuir los efectos del estrés. Por ejemplo, ante la absorción excesiva de luz, las plantas disminuyen su intercepción por medio del movimiento de las hojas disipando como calor la energía absorbida en exceso. Las plantas superiores requieren de mecanismos que protejan a los centros fotosintéticos particularmente aquellos que limitan la habilidad de la utilización de la energía luminosa absorbida ya que la sobreexcitación producida en los fotosistemas producen daños fotooxidativos, especialmente en el fotosistema II (PSII), una de las estructuras más sensibles al estrés abiótico. La heterogeneidad de los PSII esta modulada por la intensidad lumínica, por la capacidad del sistema para utilizarla fotoquímicamente y por la temperatura (González *et al.*, 2001). Frecuentemente, cuando la fotosíntesis en las plantas es alta su fluorescencia es baja, mientras que cuando la fotosíntesis se satura con la alta luminosidad la producción de fluorescencia es alta (O'Neill *et al.*, 2006). La causa de estas respuestas es la disminución de la duración del aparato fotosintético de la planta en las diversas etapas fenológicas, de la tasa de acumulación de biomasa en el grano y la pérdida de viabilidad de polen y estigmas (Srinivasan *et al.*, 1998).

### **2.6.2 El estrés abiótico**

El estrés abiótico provoca una serie de cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares que afectan negativamente al crecimiento de la planta y

su productividad hasta en un 50% (Bray *et al.*, 2000). La respuesta más importante de la planta frente al estrés abiótico es la activación transcripcional de genes específicos, por lo que la regulación espacial y temporal de los patrones de expresión de genes de estrés específicos es una parte importante de la adaptación de la planta al estrés abiótico (Riechmann *et al.*, 2000). Por otra parte, las plantas bajo estímulos ambientales negativos pueden permanecer bajo un estado particular de estrés sin que su fenotipo se vea modificado de manera significativa. Su estado “ideal” se identifica al ser observado bajo condiciones óptimas y se denomina normal (Benavides, 2002). Múltiples factores ambientales inducen estados de estrés en las plantas. El estrés hídrico es la principal barrera para incrementar la producción y la calidad (Cornejo, 2002).

#### **2.6.2.1 Estrés hídrico**

Los efectos de la sequía con frecuencia se magnifican por la ocurrencia de otros estreses abióticos y bióticos. Las plantas cultivadas se ven sometidas a diferentes grados de estrés en alguna etapa de su crecimiento. Los cambios generados son una respuesta a la sobrevivencia de la planta misma. El efecto del estrés por sequía generalmente se refleja en una disminución de la producción y del crecimiento total; aunque depende del grado de reducción de los factores, así como de la etapa de crecimiento y la duración de las condiciones de sequía (Kramer, 1983). A causa de su papel esencial en el metabolismo de las plantas, el déficit de agua afecta rápidamente los procesos que van desde la fotosíntesis hasta la respiración. El agua es un agente químico que imparte orden y estructura en las biomoléculas y ayuda a

la interacción entre éstas. Dentro de los procesos biofísicos más afectados por la carencia de agua se encuentran la expansión celular y el crecimiento, desórdenes que a su vez afectan a otros procesos biofísicos (Pugnaire *et al.*, 1994).

El estrés hídrico incluye en realidad dos tipos de estrés contrapuestos: el déficit y por el exceso de agua en el suelo, ya que es bastante frecuente que dos o más factores de estrés coexistan, pudiendo su interacción ser sinérgica, como el estrés hídrico, que puede interactuar con las altas temperaturas y la alta irradiación. El término sequía denota en muchos casos esta interacción entre baja disponibilidad hídrica, alta temperatura y alta irradiación. La sequía es un concepto meteorológico más que fisiológico, ya que se refiere a un período en el cual las precipitaciones no compensan el agua perdida por evapotranspiración (Passioura, 1996). La sequía y el estrés hídrico son términos usados indistintamente en numerosos trabajos. Algunos autores utilizan el término “déficit hídrico” (transpiración que supera la absorción de agua) como un componente de otros tipos de estrés, ya que la falta de agua puede observarse tanto en situaciones de sequía como ante la salinidad o las bajas temperaturas (Bray *et al.*, 2000).

Las plantas han desarrollado estrategias para tolerar el déficit hídrico. Las respuestas pueden ser transitorias o bien ser productos de cambios en la expresión génica. El estrés hídrico puede integrarse por una numerosa serie de procesos donde los más afectados por el estrés hídrico son la inhibición del alargamiento celular, uno de los primeros efectos del déficit hídrico sobre las plantas y que se traduce en la reducción del crecimiento de la planta. Además ocurre como el cierre



estomático y la consecuente disminución de la conductancia que redundan en el aumento de los niveles del ácido abscísico (ABA). El cierre estomático puede inducirse aún antes de cualquier cambio detectable en el potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) y el contenido relativo de agua (CRA) de las hojas. Actualmente se acepta la existencia de una señal proveniente de las raíces, como respuesta al déficit hídrico percibido por la cofia por una mayor dureza del suelo lo cual produce una molécula de ácido abscísico (ABA) el cual es transportado por el xilema de la raíz a las hojas (Ruiz-Medrano *et al.*, 2001).

#### **2.6.2.1.1 Cuantificación del estrés hídrico**

El estado hídrico de una planta es generalmente caracterizado por el  $\Psi_w$  y el CRA; es decir, el contenido porcentual de agua en relación al contenido de agua a hidratación máxima (Turner, 1986). Sin embargo, el grado de estrés no puede definirse por el estado hídrico de la planta debido a que el  $\Psi_w$  puede ser, en muchos casos, una consecuencia y no una causa del control de la apertura estomática (Tardieu *et al.*, 1996). Además, dado que existen importantes diferencias entre especies en el grado de tolerancia al estrés es difícil establecer parámetros que definan al estrés y su magnitud en forma general.

#### **2.6.2.1.2 Mecanismos de respuesta**

Las plantas presentan principalmente tres mecanismos de respuesta al déficit hídrico, como la evasión, escape y la tolerancia (Kramer, 1983). Las plantas pueden

desarrollar mecanismos tanto morfológicos como fisiológicos al someterse al estrés por sequía (Padilla-Ramírez, 1994). La evasión es un comportamiento hídrico que realizan las plantas evitando las tensiones excesivas en el xilema a través del cierre de estomas, pocas cantidades de hojas, baja absorción de la radiación entre otros. El escape es la habilidad de la planta para completar su ciclo antes de que el déficit hídrico en el suelo y en la planta se desarrolle. Para ello, la planta cumple una determinada fase fenológica en forma rápida o, en todo caso, adapta su desarrollo a las condiciones presentes en ese momento. Por su parte, las plantas tolerantes evitan la deshidratación utilizando mecanismos morfo-fisiológicos complejos como el ajuste osmótico, capacidad de rebrote, alta elasticidad de la pared celular, acumulación de sustancias osmoprotectoras (prolina, betaina) y estabilidad de pigmentos fotosintéticos (Levitt, 1980; Turner, 1986).

#### **2.6.2.1.3 Respuestas fisiológicas al estrés hídrico**

Entre las respuestas fisiológicas al estrés hídrico destacan la disminución de la conductancia estomática, de la transpiración y la fotosíntesis, de la tasa de fijación de CO<sub>2</sub>, la acumulación de osmolitos y de osmoprotectores y la alteración del metabolismo de los carbohidratos (Castañeda *et al.*, 2006). Un efecto del estrés hídrico se manifiesta en la notable disminución del contenido de giberelinas que están directamente ligadas a una serie de procesos fisiológicos en la planta tales como el balance hormonal y el crecimiento celular (Looney, 1997). La aparición de un periodo de déficit hídrico corto o prolongado durante el ciclo de vida en una planta

cualquiera, se origina casi de forma inmediata el cierre de los estomas como un mecanismo de protección y/o resistencia ante dicha adversidad. Este fenómeno se asocia con incrementos en los niveles endógenos de ABA en la mayoría de las especies estudiadas (Rojas y Ramírez, 1996). Por otra parte, la naturaleza química o hidráulica del control del cierre estomático asociado con el estrés hídrico indica la asociación o la implicación del ABA en ello (Serraj y Sinclair, 2002).

#### **2.6.2.2 Estrés hídrico en frijol**

El frijol requiere de 200 a 400 mm de agua para su desarrollo distribuidos de forma uniforme, con una precipitación de 1 a 2 mm día<sup>-1</sup> durante la fase vegetativa y de 2 a 3 mm día<sup>-1</sup> durante la reproductiva, hasta la etapa de madurez fisiológica cuando se requiere poca o ninguna humedad. Cualquier alteración en esta demanda puede afectar al rendimiento, ya que el frijol tiene poco poder de recuperación cuando está expuesto al estrés hídrico o a las altas precipitaciones (Zimmermann *et al.*, 1994). Los caracteres fisiológicos relacionados con la tolerancia a sequía son el contenido foliar de N y K y la relación entre la longitud y el peso seco unitario de la hoja; de igual manera, los genotipos de frijol genéticamente adaptados a sequía pueden movilizar el K foliar y el total de los carbohidratos no estructurales a las hojas jóvenes y a las semillas en desarrollo durante el llenado de vainas. En frijol, la sequía reduce el crecimiento debido a que afecta la tasa de alargamiento celular en las diferentes partes vegetativas de la planta; afecta significativamente en la reducción de la tasa transpiratoria, el potencial hídrico y el potencial de turgencia; además, incrementa la resistencia estomática, la temperatura de las hojas y el potencial osmótico (Pastenes

*et al.*, 2004). En frijol se ha identificado una respuesta diferencial entre variedades del mismo género, lo mismo se ha encontrado en diferentes razas genéticas. Ello indica que existen diferentes genes involucrados en los mecanismos de resistencia. En estudios realizados en Colombia y México se identificaron genotipos con diferentes mecanismos de resistencia a sequía, lo que indica el camino a seguir, identificando los genes de resistencia en los materiales que se utilicen en los trabajos de selección. El tipo de suelo puede mitigar el efecto de la sequía, ya que los suelos arcillosos por su mayor capacidad de retención de humedad proveen a la planta de la suficiente humedad, evitando el estrés hídrico. También, se ha observado que la fertilización reduce el efecto de la intensidad de la sequía debido a que la planta puede sobrevivir en mejor forma. En trabajos con cruza de líneas de frijol rojo claro portadores del gen *bc3* y resistencia a sequía se identifican familias que combinaron el grano de color rojo claro, con el gen *bc3* y tolerantes a la sequía (Beebe *et al.*, 2000).

#### **2.6.2.2.1 Selección de germoplasma**

El 60% de la producción mundial de frijol común se obtiene en condiciones de déficit hídrico por lo que este factor es el que más contribuye en la reducción del rendimiento después de las enfermedades (Singh, 1996). La producción de variedades de frijol para resistencia a sequía en México, ha sido lenta y costosa, debido a que la sequía es un carácter difícil de evaluar ya que genotipos que presentan rendimientos superiores bajo sequía en alguna localidad o año pueden o no repetir esta respuesta (Acosta-Gallegos *et al.*, 2000). Para el caso del

mejoramiento genético, cuando uno de los principales objetivos es la selección de germoplasma con alto potencial de rendimiento final, se simplifican o ignoran muchos de los procesos fisiológicos de la adaptación a la sequía. Sin embargo, el rendimiento de grano es hasta la fecha el mejor criterio de selección de frijol para resistencia a sequía (Singh, 1991). Singh (1996), Schneider *et al.* (1997) y Acosta *et al.* (2000) sugieren que en un programa de mejoramiento genético de la resistencia a la sequía o de adaptación a las condiciones de temporal, la selección basada en el rendimiento de grano debería realizarse en generaciones avanzadas y realizar la selección en generaciones tempranas con base en aquellas características de herencia simple como son genes resistencia a enfermedades, características del grano, color de la flor, entre otras.

### **2.6.3 Estrés biótico por patógenos**

El estrés causado por la infección por patógenos en las plantas es otra de las causas de la reducción de la productividad de los cultivos (McDowell y Woffenden, 2003). Las plantas están dotadas de una serie amplia de mecanismos de defensa que incluyen barreras preformadas como ceras, componentes de la pared celular y metabolitos secundarios etc. La detección del patógeno por la planta activa una serie de respuestas tales como el aumento de la expresión de genes de defensa, la producción de compuestos antimicrobianos, la formación de lignina, el estrés oxidativo y la respuesta hipersensible (HR) (Feys y Parker, 2000). Así pues, la resistencia a la infección por patógenos se debe a la combinación de barreras físicas y químicas previas al ataque por patógenos o inducidas por éste. La activación de las

respuestas de defensa a la infección por el patógeno requiere de la percepción previa de éste por la planta. Esta percepción se lleva a cabo por la interacción de elicitores del patógeno con receptores de la planta. Los elicitores se clasifican en dos grupos. Uno incluye los determinantes de virulencia que son específicos y únicos de un patógeno particular. El segundo incluye factores no específicos que están presentes de forma constitutiva en el patógeno al ser esenciales para su funcionamiento (Gabriel *et al.*, 1990). El reconocimiento por la planta de la presencia de un patógeno desencadena una serie muy variada de respuestas; una de ellas activa el aumento rápido de los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS). Las ROS pueden ser tóxicas para el patógeno invasor o bien contribuir al refuerzo estructural de la pared celular del hospedante. Las ROS también participan en la respuesta de hipersensibilidad (Lamb y Dixon, 1997).

#### **2.6.3.1 Pudrición carbonosa en frijol**

En el frijol común, *M. phaseolina* ocasiona la muerte de plántulas de frijol en pre- y post-emergencia o reduce el vigor de las plantas adultas y el rendimiento de semilla. Los síntomas típicos causados por el patógeno en frijol incluyen la aparición de lesiones oscuras e irregulares en los cotiledones, marchitez, clorosis sistémica, defoliación prematura, madurez temprana o la muerte de las plantas adultas. Las infecciones tardías causan la aparición de áreas grises en los tallos donde se producen los microesclerocios y picnidios característicos del hongo. El hongo causa lesiones oscuras en epicótilos e hipocótilos de plántulas y, después, la planta muere debido a la obstrucción de los vasos del xilema y al marchitamiento vascular. En

plantas adultas, el patógeno causa decoloración de raíces y tallos y produce micelio oscuro y microesclerocios negros. Los tallos muestran lesiones oscuras longitudinales y la planta se defolia y marchita (Abawi y Pastor-Corrales, 1990). *M. phaseolina* muestra amplia diversidad morfológica (Mayek-Pérez *et al.*, 1999); fisiológica (Mihail y Taylor, 1995); patogénica (Su *et al.*, 2001) y genética (Su *et al.*, 2001; Mayek-Pérez *et al.*, 2001; Reyes-Franco *et al.*, 2005; Baird *et al.* 2010) misma que incrementa la adaptabilidad del patógeno a ambientes diversos. El hongo existe en dos formas dentro de su ciclo de vida asexual, una sub-fase o forma saprofítica (denominada *Rhizoctonia bataticola*) donde el hongo principalmente produce microesclerocios y otra patogénica (*M. phaseolina*) donde el patógeno principalmente produce picnidios. En la fase patogénica el hongo es no específico y ataca un amplio rango de cultivos económicamente importantes tales como frijol común, maíz, sorgo, soya (*Glycine max*), ajonjolí (*Sesamum indicum*), cacahuete (*Arachis hypogea*), algodónero (*Gossypium hirsutum*), girasol (*Helianthus annuus*), cártamo (*Carthamus tinctorius*), sandía (*Citrullus lanatus*) y melón (*Cucumis melo*), entre otras (Dhingra y Sinclair, 1978).

#### **2.6.3.1.1 Condiciones de infección**

La incidencia y desarrollo de la pudrición carbonosa es favorecida por la presencia de altas temperaturas y condiciones de déficit hídrico o sequía (Abawi y Pastor-Corrales, 1990). Mayek-Pérez *et al.* (2001) observaron la diferenciación patogénica y genética entre aislamientos de *M. phaseolina* con base en el origen, los aislamientos de regiones tropicales fueron más agresivos en frijol que los de regiones templadas o

áridas. Por su parte, Su *et al.* (2001) analizaron aislamientos del hongo de cuatro parcelas que se habían cultivado durante al menos 10 años continuos con algodónero, soya, sorgo y maíz y, con base en los claros patrones de diferenciación patogénica, genética y fisiológica entre aislamientos, sugirieron la especialización del género *Macrophomina*. Por su parte, Almeida *et al.* (2003) determinaron que la mayor diversidad genética en *M. phaseolina* ocurre con la rotación de cultivos, mientras que el monocultivo induce la menor diferenciación genética entre aislamientos. Estudios en condiciones de riego-secano de reacción de germoplasma de *Phaseolus* a *M. phaseolina* han permitido detectar genotipos sobresalientes por su resistencia al hongo (Abawi y Pastor y Corrales 1998; Mayek-Pérez *et al.*, 2001, 2002, 2009).



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El primer objetivo experimentales de este trabajo, consistió comparar los modelos de estabilidad de Eberhart y Rusell (1966), AMMI (Gauch y Zobel, 1996) y el BIPLLOT para caracterizar la estabilidad del rendimiento de grano y la resistencia a pudrición carbonosa en LERs de frijol común, mientras que el segundo objetivo se realizó para valuar agronómica y fisiológicamente LERs de frijol común seleccionadas por rendimiento de grano y menor severidad del daño causado por *Macrophomina phaseolina*.

#### 3.1 Genotipos utilizados

El material genético consistió en 98 líneas endogámicas  $F_{10}$  derivadas de la cruza entre la línea BAT-477 (resistente) y la variedad Pinto UI-114 (susceptible) (Mayek–Pérez *et al.*, 2002).

#### 3.2 Localidades de prueba

Los materiales se establecieron en predios con antecedentes de alta incidencia de *M. phaseolina* en frijol (Mayek–Pérez *et al.*, 2009; De la Peña-Devesa *et al.*, 2009). Dos experimentos se establecieron en cada una de las localidades de Isla y Cotaxtla, Veracruz y Río Bravo y Díaz Ordaz, Tamaulipas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los sitios experimentales donde se establecieron los 18 experimentos con 98 líneas y dos progenitores de frijol bajo riego y sequia terminal, mas dos experimentos de líneas seleccionadas.

| Localidad                 | Temp. media anual (°C) | Precipitación anual (mm) | pH  | Suelo<br>Textura     | Altitud (msnm) | Localización         |    |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|-----|----------------------|----------------|----------------------|----|
|                           |                        |                          |     |                      |                | LN                   | LO |
| Cotaxtla,<br>Veracruz     | 25.5                   | 230                      | 6   | Migajón<br>Arcilloso | 15             | 18 ° 44 ' .95 ° 58 ' |    |
| Isla,<br>Veracruz         | 23.5                   | 142                      | 5.3 | Franco<br>Arenoso    | 65             | 18 ° 06 ' 95 ° 32 '  |    |
| Río Bravo,<br>Tamaulipas  | 22.0                   | 600                      | 7.9 | Arcilloso            | 27             | 25 ° 57 ' 98 ° 00 '  |    |
| Díaz Ordaz,<br>Tamaulipas | 24.0                   | 500                      | 7.8 | Franco<br>Arenoso    | 40             | 26 ° 10 ' 98 ° 31 '  |    |

### 3.3 Fechas de siembras

En Isla los experimentos se sembraron el 15 de octubre de 2007 y el 17 de noviembre del 2008; en Cotaxtla el 24 de noviembre de 2007 y 3 de noviembre de 2008; en Díaz Ordaz el 20 de febrero de 2008 y 3 de abril del 2009 y en Río Bravo el 28 de febrero del 2008 y 2 de abril del 2009. La siembra se realizó “a tierra venida” en forma mecánica para los experimentos en Tamaulipas y manualmente en los experimentos de Veracruz. Diez semillas por metro lineal se depositaron a una profundidad de 5 a 7 cm. La unidad experimental fue de un surco de 5 m de largo con 80 cm (Veracruz) y 86 cm (Tamaulipas) de separación. Los dos progenitores (BAT-477 y Pinto UI-114) más las 98 líneas se aleatorizaron en diseños experimentales de ládice 10 x 10 con dos repeticiones.

### **3.4 Manejo de experimentos en campo**

El manejo de los experimentos en cada sitio experimental se realizó con base en el paquete tecnológico del INIFAP (2004) para frijol.

### **3.5 Riegos y establecimiento de sequía**

En cada experimento se realizó un riego de ‘asiento’ a los 30 días antes de la siembra. Posteriormente, se realizó el primer riego de auxilio a los 40 días después de la siembra. En los experimentos sin limitación de riego (8 localidades) se aplicaron dos riegos de auxilio más, mientras que en los experimentos bajo estrés por sequía (8 localidades), se establecieron en tratamiento de sequía terminal que consistió en la suspensión del riego al inicio de la floración en al menos el 50% de las parcelas experimentales, y en dicha condición se mantuvo al germoplasma hasta la cosecha (Mayek *et al.*, 2001).

## **3. 6 Datos experimentales**

### **3.6.1 Evaluación de daño de *Macrophomina phaseolina***

La incidencia y severidad de *M. phaseolina* se midió en tres plantas de cada una unidad experimental de acuerdo con la escala de Abawi y Pastor-Corrales (1990) durante las etapas fenológicas R<sub>6</sub>- R<sub>8</sub> (CIAT, 1987). Las LERs con valores de severidad de la pudrición carbonosa de 1 a 3 se consideraron como resistentes y las que exhibieron valores de 4 a 9 como susceptibles.

### **3.6.2 Rendimiento de grano**

Se registró el rendimiento de semilla ( $\text{gm}^{-2}$ ) por parcela, se cortaron las plantas y se dejaron secar hasta que permitió la cosecha del grano, la cual se realizó manualmente.

### **3.7 Análisis de datos**

Con los datos de la reacción a *M. phaseolina* y los del rendimiento de semilla se llevó a cabo un análisis preliminar por localidad, considerando el diseño de látice 10 x 10 en el que originalmente se estableció en cada ensayo en campo. Al no detectarse efectos intra-bloque estadísticamente significativos en los experimentos en la mayoría de los casos se decidió analizar la información con base en el diseño experimental de bloques completos al azar por localidad (Tamaulipas y Veracruz), generándose así 16 localidades con dos repeticiones. Para la separación de medias en los casos en que el ANVA detectó diferencias significativas entre tratamientos se utilizó la prueba de gama múltiple de Tukey (DMSH,  $P=0.05$ ). El análisis estadístico se realizó con el programa de cómputo SAS versión 6.03 (SAS Institute, 1998).

### **3.8 Análisis de estabilidad**

#### **3.8.1 Análisis de estabilidad de Eberhart y Rusell (1966)**

Con los datos de rendimiento y severidad de daño de todos los experimentos descritos (16 ambientes), se realizó el análisis combinado de estabilidad del

rendimiento y de la reacción a *M. phaseolina* con base en el modelo de Eberhart y Russell (1966) y utilizando los criterios de clasificación de genotipos de Carballo y Márquez (1970) (Cuadro 2A).

Los parámetros para el estudio de la estabilidad fueron definidos por el modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i l_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = promedio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ .

$\mu_i$  = media del genotipo  $i$  en todos los ambientes.

$\beta_i$  = coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo  $i$  a la variación ambiental.

$l_j$  = índice ambiental.

$\delta_{ij}$  = desvío de la regresión del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ .

$\varepsilon_{ij}$  = desviación de la regresión de la variedad y el ambiente.

El índice ambiental en cada ambiente se calculó con base en la desviación promedio de todos los genotipos en ese ambiente en relación con el promedio general:

$$l_j = Y_j - \bar{Y}.$$

De acuerdo con Eberhart y Russell (1966) un genotipo estable es aquel para el cual se obtiene un coeficiente de regresión igual a la unidad ( $B_1 = 1$ ) y una mínima desviación de la línea de regresión ( $S^2_{di} = 0$ ). Valores del coeficiente  $B_1$  mayores que la unidad indican que el genotipo responde bien a ambientes favorables, pero su

comportamiento es pobre en ambientes desfavorables. Por el contrario, si el valor de  $B_1$  es menor que la unidad el genotipo se comporta bien en ambientes desfavorables.

El coeficiente de regresión de la variedad  $i$  se estimó como:

$$B_1 = \Sigma Y_{ij} / \Sigma I_j^2$$

Y el segundo parámetro de estabilidad que tiene que ver con las desviaciones de regresión, se estimó de la siguiente manera:

$$S^2_{di} = [\Sigma \delta^2_{ij} / (n-2)] - s^2_e/r$$

Donde:

$\delta$  = desviación de la  $i$ ésima variedad en el  $j$ ésimo ambiente de regresión y es dado como:  $\delta_{ij} = y_{ij} - y_{ij}$ , donde;  $y_{ij}$  = valor esperado de  $i$ ésimo variedad en el  $j$ ésimo ambiente.

### 3.8.2 Análisis de estabilidad AMMI

La información analizada se sometieron al análisis combinado de ambientes con el modelo AMMI y el gráfico 'biplot alternativo; (Burgueño *et al.*, 2001). El modelo AMMI combina el análisis de componentes aditivos en un modelo para los efectos principales del genotipo y ambientes, así como los componentes multiplicativos por el efecto de la IGA, con el cual se analizaron las líneas de frijol para evaluar el efecto

del genotipo (líneas), de los ambientes de prueba (localidades) y de la IGA para los parámetros de rendimiento y reacción a pudrición carbonosa. De esta forma se pudo seleccionar los genotipos estables y que presenten los mayores rendimientos de grano y menores daños por la pudrición carbonosa. El grafico 'biplot' se utilizo para identificar los genotipos con mayor aporte a la interacción y los que presentan los mayores y menores valores promedio del rendimiento de grano y severidad de la pudrición carbonosa, respectivamente.

El modelo AMMI se representa por la ecuación (Crossa, *et al.*, 1990):

$$Y = \mu + \alpha g + \beta e + \sum_n \lambda_n B_{ng} \delta_{en} + p_{ge} + \epsilon_{ger}$$

Donde:

$Y$  = rendimiento del  $i$ ésimo genotipo " $g$ " en el  $j$ ésimo ambiente " $a$ " y para la repetición  $r$ .

Los parámetros aditivos son:

$\mu$  = gran media.

$\alpha g$  = desviación del genotipo  $g$  de la gran media.

$\beta e$  = desviación del ambiente  $a$ .

Los parámetros multiplicativos son:

$\lambda B_n$  = valor singular para el eje  $n$  del componente principal de interacción (CPI).

$B_{ng}$  = vector del genotipo  $g$  para el eje  $n$ .

$\delta_{en}$  = vector del ambiente  $e$  para el eje  $n$ .

$p_{ge}$  = sumatoria de los ejes que no están explicado por los vectores (residuo IGA)

$\varepsilon_{ger}$  = desviación del genotipo  $g$  en ambiente  $e$  la repetición  $r$ .

$p_{ge}$  = interacción que no es explicado por ACP.

### **3.8.2 Análisis Biplot**

El Biplot se grafica en uno solo, donde cada genotipo se representa por un punto o marcador definido al graficar los coeficientes de cada genotipo en el CP1 (eje de las abscisas) contra los respectivos coeficientes en el CP2 (eje de las ordenadas). Los ambientes se presentan como vectores que se originan en la coordenada (0, 0) del “Biplot” y se extienden hasta el marcador correspondiente. Los marcadores de los genotipos más alejados en el espacio bidimensional están conectados mediante líneas rectas y configuran los vértices de un polígono,

## **3.9 Selección y Evaluación de LER**

### **3.9.1 Evaluación de campo de líneas avanzadas seleccionadas**

Se seleccionaron cinco LERs que presentaron los menores valores de severidad a la pudrición carbonosa y que estuvieran dentro de las diez líneas con mayores rendimientos de grano. Las líneas 33, 62, 54 57 y 58 se establecieron en ensayos preliminares de rendimiento junto con los progenitores (BAT-477 y Pinto UI-114),



además de tres testigos regionales: Pinto Anzaldúas, Negro Michigan y Pinto San Juan. Los diez genotipos se establecieron en dos experimentos de campo en Río Bravo y Díaz Ordaz, Tamaulipas durante el periodo febrero a julio de 2009. Los experimentos se establecieron en diseños experimentales de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en condiciones de riego (uno de asiento y dos de auxilio). En ambos experimentos se registraron los días a floración y a madurez fisiológica (Schoonhoven *et al.*, 1987) y el rendimiento de semilla ( $\text{g m}^{-2}$ ) al 14%. El manejo se realizó en base en el paquete tecnológico del INIFAP (INIFAP, 2004).

### **3.9.2 Experimentos de Laboratorio**

#### **3.9.2.1 Caracterización fisiológica**

Cinco LERs (33, 54 62, 57, 58), los dos progenitores (BAT-477 y Pinto UI-114) y los testigos Pinto Americano, Pinto Saltillo y Negro Jamapa se sembraron el 14 de abril del 2010 en 60 macetas de unicel de un litro de capacidad llenadas con sustrato 'peat-moss'. El estudio se realizó en condiciones de invernadero en la Facultad de Agronomía de la UANL en Marín, Nuevo León, ( $25^{\circ} 23'$  de LN;  $100^{\circ} 12'$  LO; 393 msnm) (INEGI, 1996). Las plantas se mantuvieron con humedad a capacidad de campo (CC) hasta los 20 días después de la siembra antes del inicio de la etapa de formación de vaina R<sub>3</sub>. A partir de esa etapa la mitad de las plantas (30 macetas) se sometieron a condición de sequía [50% de humedad (peso/peso)] del sustrato, hasta finalizar el experimento. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, con dos plantas por unidad

experimental. Durante el desarrollo del cultivo se pesaron semanalmente las plantas, de manera que con la diferencia de peso de las macetas se aplicó el agua consumida manteniendo la humedad constante del sustrato.

Las variables fisiológicas evaluadas [fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), conductancia ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y transpiración ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )], se midieron al inicio de la etapa R<sub>3</sub>. Las mediciones se hicieron en el foliolo central de la primera hoja expandida, utilizando un aparato portátil de medición de fotosíntesis (LI 6400, LICOR, Lincoln, Nebraska, EUA). Se midió el número de estomas, de una hoja en cada unidad experimental, evaluando el área de  $0.06 \text{ mm}^2$  con 5 campos tomados al azar con tres repeticiones de cada sitio de la hoja (base medio y ápice), utilizando esmalte de uñas transparente y colocando las muestras por duplicado montadas en porta objetos y estos al microscopio (Olympus Bx-51) con una fijación digital de cámara digital Hitachi KPD-50 en una ampliación de 100-340mm. El conteo de estomas se realizó con un objetivo 40X.

### **3.9 2.2 Calidad fisiológica**

La calidad fisiológica de los genotipos evaluados en 5.1 se evaluaron mediante la prueba de crecimiento en baño maría. Para ello, las líneas, progenitores y testigos se sembraron en vasos de aluminio de 80 mL llenados previamente con sustrato peat-moss el 9 de abril del 2010. La cosecha de plántulas se realizó a los 10 días después de la siembra. Los genotipos se cultivaron en dos temperaturas de crecimiento (30 y 40 °C) con dos repeticiones bajo un diseño experimental de bloques completamente

al azar y una planta por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron altura de planta (cm), peso de raíz (g), peso de tallo (g) y peso de hoja (g), las cuales fueron secadas en estufa a temperatura de 60 °C por 72 h y pesadas en balanza analítica.

### **3.9.3 Análisis fisiológicos de líneas experimentales**

#### **3.9.3.1 Análisis de experimentos de campo**

Con los datos de la reacción a *M. phaseolina* y del rendimiento de semilla de las 98 LERs evaluadas en Cotaxtla e Isla, Veracruz (2007) y los de Tamaulipas (Río Bravo y Díaz Ordaz de 2008), teniendo hasta esta fecha un total de ocho localidades se llevó a cabo un análisis preliminar, considerando inicialmente el diseño de látice 10 x 10 originalmente establecido. Al no detectarse efectos intra-bloque en la mayoría de los casos se decidió analizar la información con un ANVA combinado para lo cual se utilizó un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, donde la parcela grande fue la condición de humedad (riego-sequia) y las parcelas chicas correspondieron a las LERs. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de gama múltiple de Tukey (DMSH,  $P=0.05$ ). El análisis estadístico se realizó con el programa de cómputo SAS versión 6.03 (SAS Institute, 1998).

#### **3.9.3.2 Análisis de experimentos de caracterización fisiológica**

En el experimento de fisiología y relaciones hídricas se establecieron las líneas 33, 54, 57, 58 y 62 los progenitores (BAT-477 y Pinto UI-114), además de tres testigos

regionales: Pinto Anzaldúas, Negro Michigan y Pinto San Juan. Los datos de las variables registradas se sometieron al ANVA y la comparación de promedios, donde fue el caso, se llevó a cabo con la prueba de gama múltiple de Tukey (DMSH,  $P \leq 0.05$ ). El análisis estadístico se realizó con el programa de cómputo SAS versión 6.03 (SAS Institute, 1998).

### **3.9.3. Análisis de experimentos de calidad fisiológica**

Para calidad fisiológica la parcela grande fueron las temperaturas (30 y 40 °C) y las parcelas chicas las líneas los progenitores y los tres testigos regionales. Los datos de las variables registradas se sometieron al ANVA y la comparación de promedios, donde fue el caso, se llevó a cabo con la prueba de gama múltiple de Tukey (DMSH,  $P \leq 0.05$ ). El análisis estadístico se realizó con el programa de cómputo SAS versión 6.03 (SAS Institute, 1998).

## IV. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de comparar los modelos de estabilidad de Eberhart y Rusell (1966), AMMI (Gauch y Zobel, 1996) y el BIPLLOT para caracterizar la estabilidad del rendimiento de grano y la resistencia a pudrición carbonosa en LERs de frijol común para cumplir con el objetivo 1.

### 4.1 Análisis de estabilidad en 16 ambientes con base en Eberhart y Rusell (1966)

El ANVA combinado y de parámetros de estabilidad (Cuadro 6 y 7 del Apéndice) indicó diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre ambientes y genotipos, así como efectos de la IGA, lo que indica que los genotipos respondieron de manera diferencial a la variación ambiental (Cuadro 2).

De acuerdo a la clasificación de estabilidad propuesta por Carballo y Márquez (1970) se detectaron 36 genotipos estables ( $B_1 = 1$ ), 35 de los cuales fueron inconsistentes y solo la LER 57 estable y consistente. La LER 57 es el mejor genotipo para cualquier tipo de ambiente ya que no presenta interacción y sus desviaciones de regresión son iguales a cero, por lo que su comportamiento es predecible.

Los genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables ( $B_1 \leq 1$ ) fueron 48, de los cuales 45 presentaron un comportamiento inconsistentes y tres consistente (LERs 5 y 8 y BAT-477). De acuerdo al criterio establecido, estos tres genotipos

exhibirían buen comportamiento en ambientes con estrés como Isla y Río Bravo. El problema es que su comportamiento en ambientes buenos es limitada.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza y de parámetros de estabilidad del rendimiento y la severidad de la pudrición carbonosa de 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Veracruz y Tamaulipas, México.

| Fuente de Variación               | g. l. | Rendimiento de grano<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Severidad de la<br>pudrición carbonosa |
|-----------------------------------|-------|--|--|
| Total                             | 1585  | 64042  | 13                                     |
| Ambiente                          | 15    | 4576173**                                      | 925 **                                 |
| Genotipo                          | 99    | 36170**  | 4 **                                   |
| Interacción G x A                 | 1485  | 11102**  | 2**                                    |
| Ambiente (lineal)                 | 1     | 140148   | 7.8                                    |
| Genotipo. x Ambiente.<br>(lineal) | 99    | 91514**  | 508*                                   |
| Desviación Ponderada              | 1400  | 5209.**  | 409*                                   |
| LER1                              | 14    | 20160 NS                                       | 5.98 NS                                |
| LER2                              | 14    | 14917 NS                                       | 6.22 NS                                |
| LER3                              | 14    | 17285 NS                                       | 5.62 NS                                |
| LER4                              | 14    | 10658 NS                                       | 4.75 NS                                |
| “                                 | “     | “  | “                                      |
| “                                 | “     | “  | “                                      |
| Error Ponderado                   | 1584  | 7003   | 1.9                                    |
| CV (%)                            |       | 48   | 39                                     |

g.l.= grados de libertad, CV coeficiente de variación NS no significativo, significativo .01\*\*significativo .05\*.

Los LERs con buena respuesta en ambientes favorables ( $B_1 \geq 1$ ) pero inconsistentes fueron 15 y solo Pinto UI-114 fue consistente. Así, Pinto UI-114 interacciona positivamente con el ambiente y es sensible a los cambios ambientales, lo cual

representa una probable respuesta favorable a cualquier mejoría en el ambiente. Este genotipo se esperaría que fuese el mejor en ambientes como Díaz Ordaz y Cotaxtla; donde existen mejores condiciones agronómicas de cultivo, por lo que en este tipo de ambientes favorecería la repuesta de los genotipos antes mencionados manifestando su potencial genético con una respuesta positiva. Sin embargo en los ambientes de Isla y Río Bravo donde las condiciones para el cultivo son menos favorables, la respuesta de estos genotipos no sería favorable y estaría influenciada negativamente por las condiciones del ambiente (Cuadro 3A).

En general, el análisis de Eberhart y Rusell (1966) para rendimiento de grano indicó una mayor proporción de genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables, seguidos de los que presentaron estabilidad o no interacción y, finalmente, genotipos que respondieron mejor en ambientes favorables. Las líneas de regresión promedios para cada uno de los grupos conformados ( $B_1 \leq 1$ ,  $B_1 = 1$ ,  $B_1 \geq 1$ ) con los 100 genotipos de acuerdo a su respuesta en rendimiento de grano en los 16 ambientes se muestran en la Figura 1.

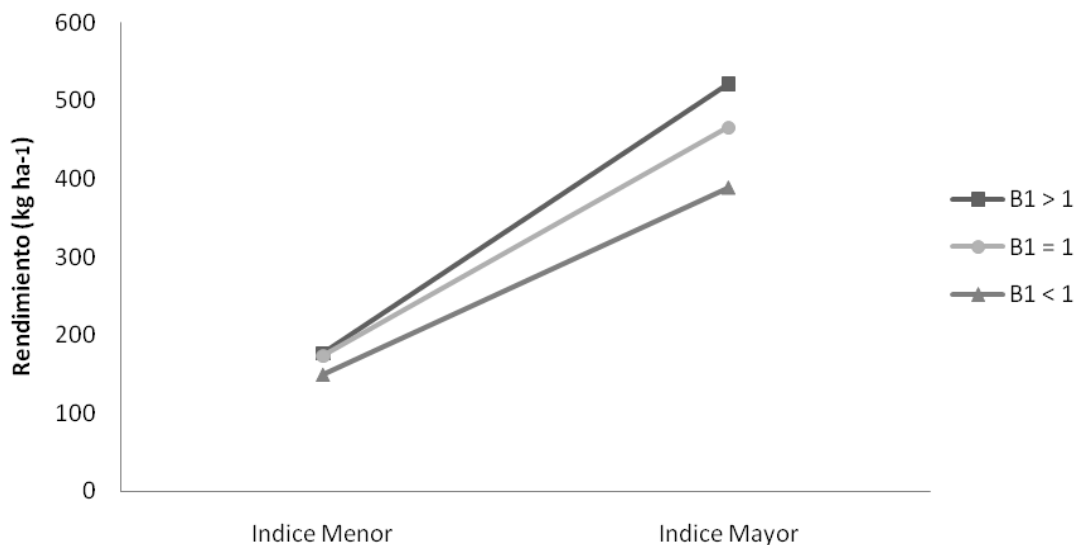


Figura 1. Líneas de regresión promedios ( $B_1 = 1$ ,  $B_1 \geq 1$  y  $B_1 \leq 1$ ) para cada uno de los grupos utilizando rendimiento de grano de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México.

Cuando se utilizó como criterio de análisis la respuesta a la infección de la pudrición carbonosa, 40 genotipos fueron estables ( $B_1 = 1$ ) pero inconsistentes. Para el caso de los genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables ( $B_1 \leq 1$ ) fueron también 40: 38 LERs y los dos progenitores, aunque todos ellos inconsistentes. En relación a los genotipos con la mejor respuesta en ambientes favorables ( $B_1 \geq 1$ ) fueron 20 LERs, todas inconsistentes (Cuadro 4A).

El análisis de la severidad del daño causado por la pudrición carbonosa muestra que la mayoría de los genotipos fueron estables (40) y con mejor respuesta en ambientes desfavorables y sólo 20 respondieron mejor en ambientes favorables. Las líneas de regresión promedios para todos los 100 genotipos de acuerdo a su respuesta a la pudrición carbonosa en los 16 ambientes se muestran en la Figura 2.



Respecto a la reacción a la pudrición carbonosa, 40 genotipos fueron estables pero inconsistentes. Los genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables ( $B \leq 1$ ) fueron 40: 38 LERs y los progenitores, aunque todos ellos inconsistentes. Los genotipos con la mejor respuesta en ambientes favorables ( $B_1 \geq 1$ ) fueron 20 LERs, todas inconsistentes (Cuadro 6A). El análisis de la severidad del daño causado por la pudrición carbonosa muestra que la mayoría de los genotipos fueron estables (40) y con mejor respuesta en ambientes desfavorables y sólo 20 respondieron mejor en ambientes favorables (Figura 2).

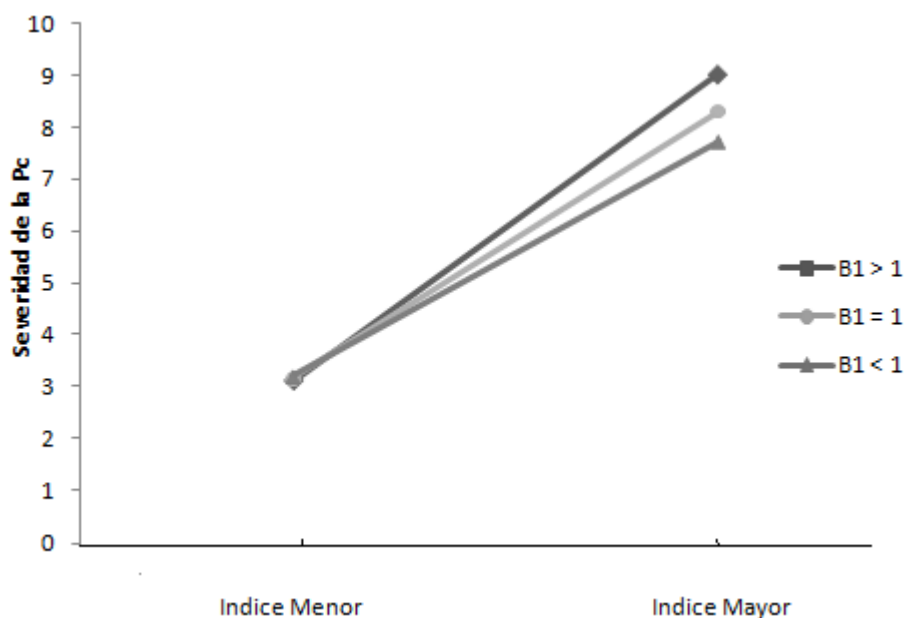


Figura 2. Líneas de regresión promedios ( $B_1 = 1$ ,  $B_1 \geq 1$  y  $B_1 \leq 1$ ) para cada uno de los grupos utilizando la severidad de la Pudrición carbonosa de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México.

#### 4.2 Análisis AMMI de 16 localidades de Tamaulipas y Veracruz, México

El ANVA con el modelo AMMI para la variable rendimiento de grano mostró (Cuadro 3) que las fuentes de variación del modelo (ambiente, genotipo e IGA) aportaron

87.4%, de la suma de cuadrados del total. Los genotipos solo aportaron 3.5% y la IGA 16.2%. La contribución de la suma de cuadrados de los ambientes indica que éstos son diversos, indicando y además, que las diferencias entre las medias de los ambientes contribuyeron a las diferencias en el rendimiento de grano entre genotipos. La contribución del efecto de la IGA a la suma de cuadrados fue mayor que de los genotipos, con respuestas diferentes de cada genotipo en los ambiente de prueba.

Cuadro 3. Cuadrados Medios del análisis de varianza combinado del rendimiento de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México.

| Fuente de Variación | g. l. | Cuadrados Medios |
|---------------------|-------|------------------|
| Ambiente            | 15    | 4576173**        |
| Repetición          | 1     | 1906 NS          |
| Genotipo            | 99    | 36170**          |
| Interacción G x A   | 1485  | 11102**          |
| CP1                 | 113   | 364**            |
| CP2                 | 111   | 277**            |
| Residual            | 1261  | 1461             |
| Error               | 1599  | 8002**           |
| CV (%)              | 48    |                  |

g.l.= grados de libertad, CV coeficiente de variación NS no significativo, significativo .01\*\* y .05\*.

El componente 1 y 2 con respecto a la IGA aportaron el 48.9% de la Suma de Cuadrados de la IGA. Mostró que los Valores Principales del primer componente (CP1) estuvieron cercanos a 0 (rango de 0 a 0.5 y de 0 a -0.5) y fueron considerados estables o con IGA igual a 0. Entre las LERs con este comportamiento están 2, 18, 26, 27, 32, 34, 61, 71, 77, 78, 84, 96 y 97 (Figura 3). Para el componente principal dos (CP2) en este mismo rango se ubicaron las LERs 40, 42, 46, 59, 69, 71, 80, 86 y 90 (Figura 3).

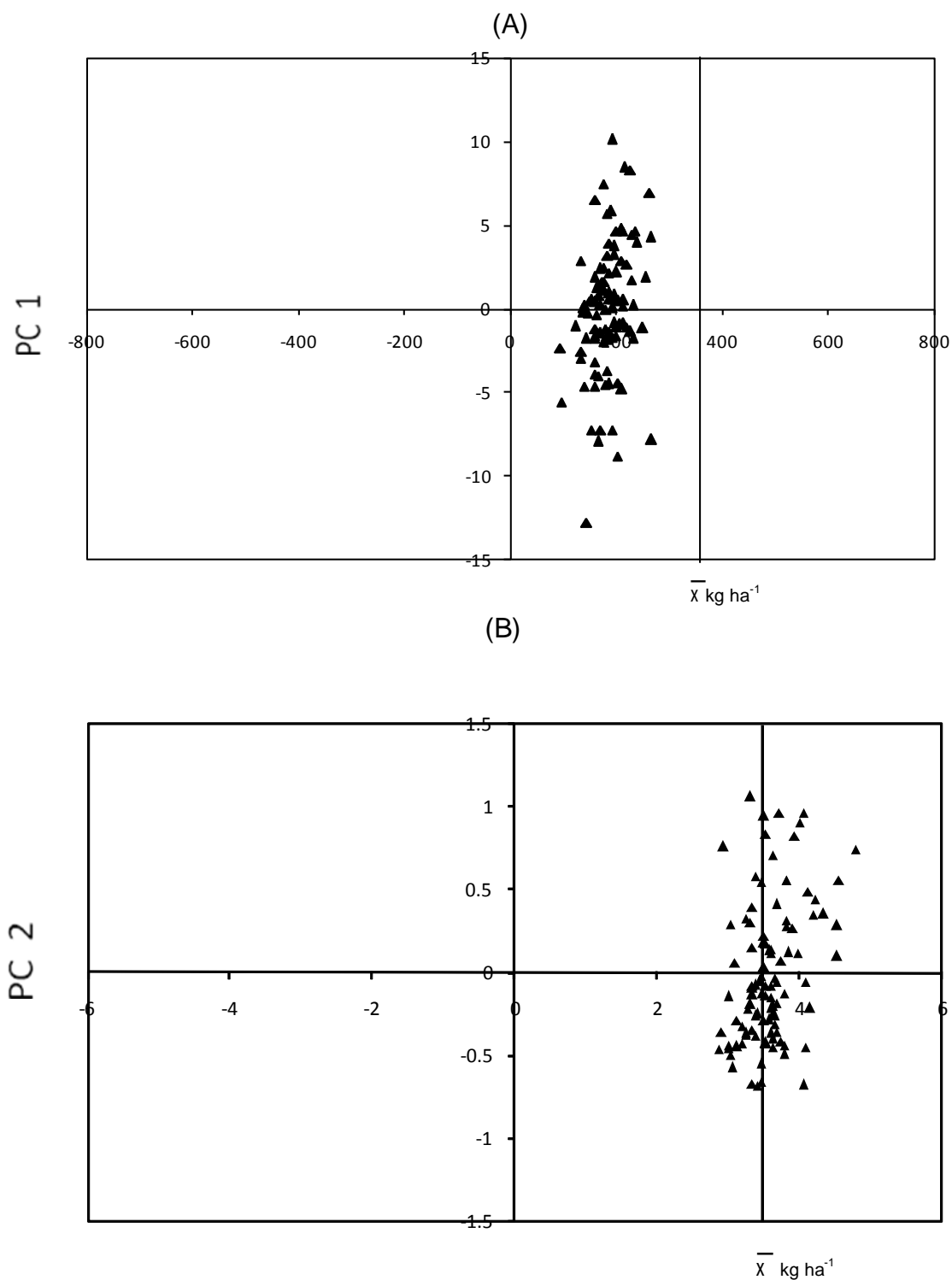


Figura 3. Análisis gráfico de interacción multiplicativa de efectos principales aditivos de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México. A) Componente principal uno (CP1) y B) componente principal dos (CP2) en relación con medias de productividad ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ).

Para el caso de la reacción a *M. phaseolina*, el análisis AMMI (Cuadro 4) mostró que las fuentes de variación del modelo (ambiente, genotipo e IGA) aportaron 84.9% a la suma de cuadrados del total; los genotipos solo aportaron 2% de la IGA. La contribución de la suma de cuadrados de los ambientes muestra que éstos son diversos, indicando a su vez que las diferencias en la respuesta a la pudrición carbonosa entre los genotipos. La contribución del efecto de la IGA a la suma de cuadrados fue mayor que la de los genotipos, lo que demuestra diferentes respuestas de los genotipos en los ambientes de prueba. El componente 1 y 2 con respecto a la IGA aportaron el 48.9% de la Suma de Cuadrados de la IGA. De acuerdo con los Valores Principales del primer componente principal (CP1), los genotipos que presentaron estabilidad o IGA baja estuvieron en un rango de 0 a 0.50 y de 0 a -0.5 y entre ellos se ubicaron las LERs 5, 19, 30, 35, 36, 38, 39, 45, 55, 62, 64, 72, 75 y 80. Los Valores Principales para el componente principal dos (CP2) en el rango ya mencionado y con interacción baja fueron las LERs 6, 15, 18, 49, 81, 90, 94 y 97 (Figura 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de la severidad de la pudrición carbonosa en 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México.

| Fuente de variación | g. l. | Cuadrados Medios |
|---------------------|-------|------------------|
| Ambiente            | 15    | 925.0**          |
| Repetición          | 1     | 5.2 NS           |
| Genotipo            | 99    | 4.4**            |
| Interacción G x A   | 1485  | 2.4**            |
| CP1                 | 113   | .059             |
| CP2                 | 111   | .055             |
| Residual            | 1261  | .114             |
| Error               | 1599  | 1.9**            |
| CV (%)              | 39    |                  |

g.l.= grados de libertad, CM cuadrados medios, CV coeficiente de variación NS no significativo, significativo .01\*\* y .05\*.

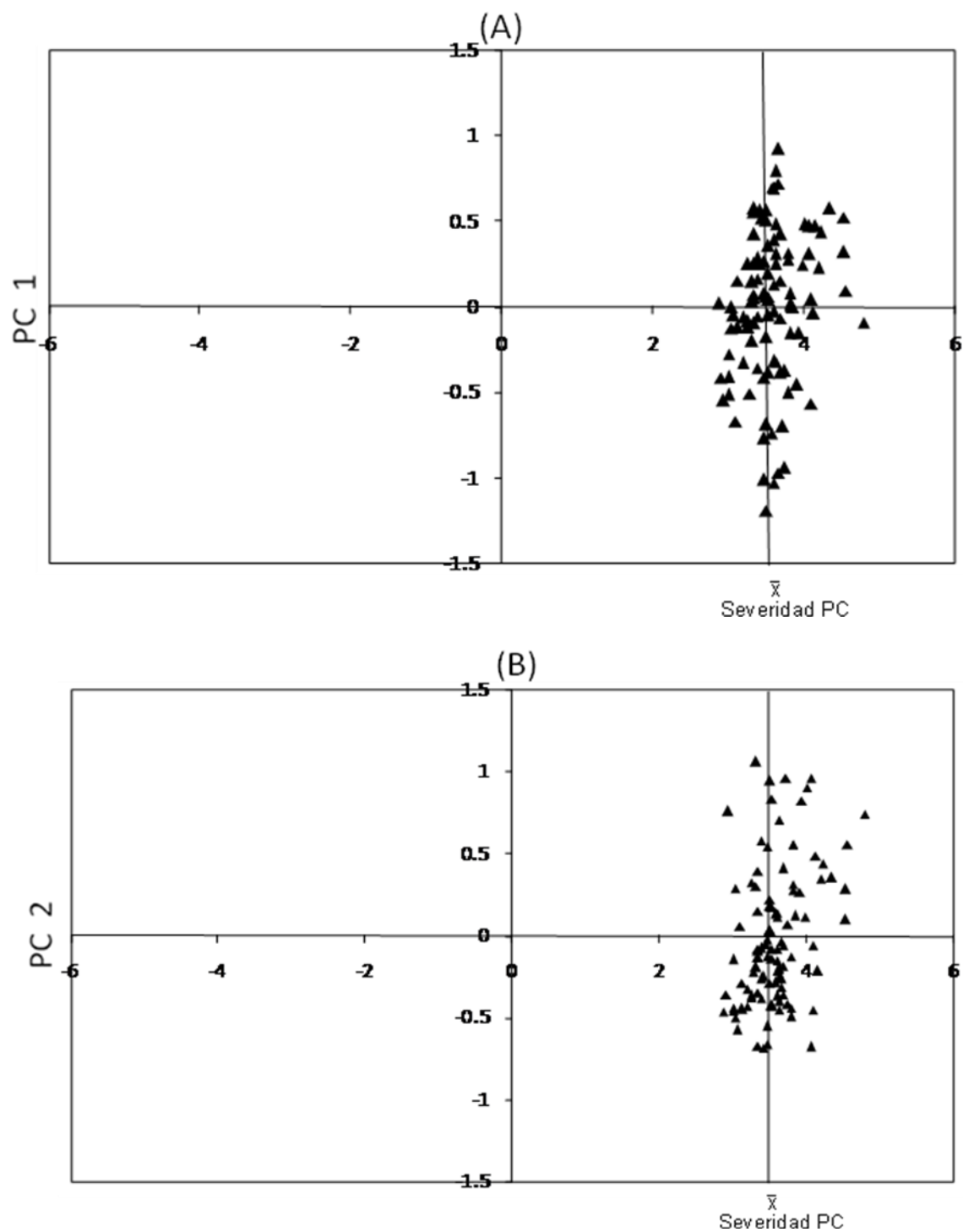


Figura 4. Análisis gráfico de interacción multiplicativa de efectos principales aditivos de 100 genotipos en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México. A) Componente principal uno (CP 1) y B), Componente Principal dos (CP 2) con relación a las medias de severidad de la Pudrición carbonosa.

#### **4.3 Análisis 'Biplot' del rendimiento de grano y la severidad de pudrición carbonosa en frijol en 16 ambientes de Tamaulipas y Veracruz, México**

El modelo AMMI generó los Valores Principales del análisis de CP que se utilizaron para generar el gráfico BIPLLOT; sin embargo, en forma alternativa a este análisis gráfico, se utilizó el análisis BIPLLOT, cuyo gráfico permite visualizar e interpretar los resultados en forma más clara y que el análisis previo del AMMI se realiza en forma más limitada (Yan *et al.*, 2001).

Las graficas resultantes al utilizar los Valores Principales para la severidad del daño por *M. phaseolina* (SEV) y el rendimiento de grano (REND) mostró un gráfico dividido en seis sectores para SEV y en cinco para el REND (Figura 5). En esta figura, los 16 vectores (ambientes) muestran comportamiento diferentes. Los ambientes con vectores de mayor longitud fueron S3, S4 y S10 (Díaz Ordaz, riego y temporal 2008, Cotaxtla riego 2008) y que a su vez presentaron los rendimientos de grano mayores y con la mayor variabilidad, mientras que los vectores con menor longitud fueron S13 (Isla, Ver. temporal 2007) y S11 y S12 (Río Bravo, temporal y riego 2008), que indican patrones de respuesta intermedios con rendimientos de grano intermedios. La distribución de los genotipos en el BIPLLOT presenta poca variación aunque hay genotipos alejados del centro del gráfico y que a su vez exhiben los mayores rendimientos de grano pero con mayor variabilidad a través de ambientes de prueba.

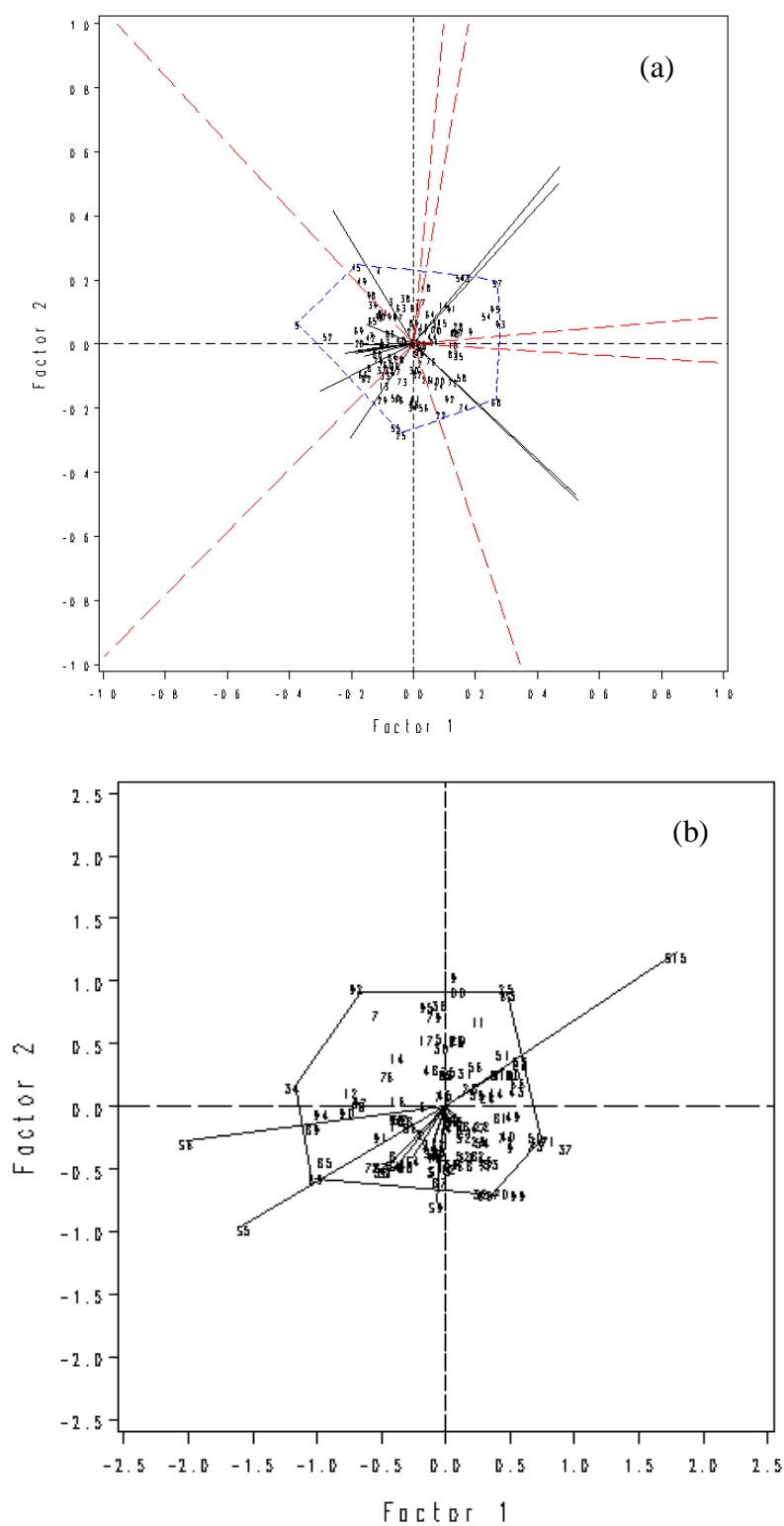


Figura 5. Gráfico Biplot de 16 ambientes de 100 genotipos de frijol para rendimiento de grano (a) y reacción a la pudrición carbonosa (b).

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los puntos [4.4, 4.5, 4.6 (4.6.1 y 4.6.2)] donde se le da seguimiento al objetivo número dos de evaluar agronómica y fisiológicamente LER de frijol común seleccionadas por rendimiento de grano y menor severidad al ataque de *Macrophomina phaseolina*

#### **4.4 Reacción de LERs a *M. phaseolina* en condiciones de campo y sequía terminal**

Para seleccionar y luego evaluar en condiciones de campo las mejores LERs con los menores daños por *M. phaseolina* y mayor rendimiento de grano en riego y/o sequía terminal se realizó el ANVA del REND, y la SEV considerando el diseño experimental de láctice 10 x 10 únicamente con los datos de las evaluaciones de las localidades de Veracruz 2007 (Cotaxtla e Isla) y Tamaulipas 2008 (Río Bravo y Díaz Ordaz) con los que se contaba al momento de la selección. Al no detectarse efectos intra-bloque la información se analizó con un ANVA combinado y considerando un arreglo de tratamientos en parcelas divididas en series de experimentos (Martínez-Garza, 1988). El ANVA para REND indicó diferencias altamente significativas ( $P \leq .01$ ) (entre ambientes y repeticiones); y para SEV de la pudrición carbonosa mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq .01$ ) para ambientes, repeticiones y niveles de humedad (Cuadro 5). El ANVA no detectó diferencias entre LERs para REND y SEV. Con base en lo anterior se seleccionaron para los posteriores ensayos preliminares de rendimiento de grano, cinco LERs que presentaron los más altos rendimientos promedio de grano en los ocho ambientes de prueba así como los menores promedios de severidad de *M. phaseolina*. Las cinco LERs seleccionadas fueron 33, 54, 57, 58 y 62 (Figura 6).



Cuadro 5. Cuadrados medios del rendimiento de grano y la severidad de la pudrición carbonosa de germoplasma de frijol cultivado en Veracruz 2007 Tamaulipas 2008 bajo dos condiciones de humedad.

| Fuente de Variación             | Cuadrados Medios |           |
|---------------------------------|------------------|-----------|
|                                 | Rendimiento      | Severidad |
| Ambiente                        | 11103068 **      | 2295 **   |
| Repetición                      | 455095 **        | 103 **    |
| Genotipo                        | 19495 NS         | 3 NS      |
| Ambiente x Genotipo             | 11869 NS         | 1 NS      |
| Error a                         | 58634            | 78        |
| Condición de humedad            | 549 NS           | 52 **     |
| Genotipo x Condición            | 5543 NS          | 1 NS      |
| Ambiente x Condición            | 44928 NS         | 95 **     |
| Ambiente x Genotipo x Condición | 5601 NS          | 1 NS      |
| Error b                         | 21326            | 3         |
| CV (%)                          | 78               | 45        |

CM cuadrados medios, CV coeficiente de variación NS no significativo, significativo .01\*\*significativo .05\*.

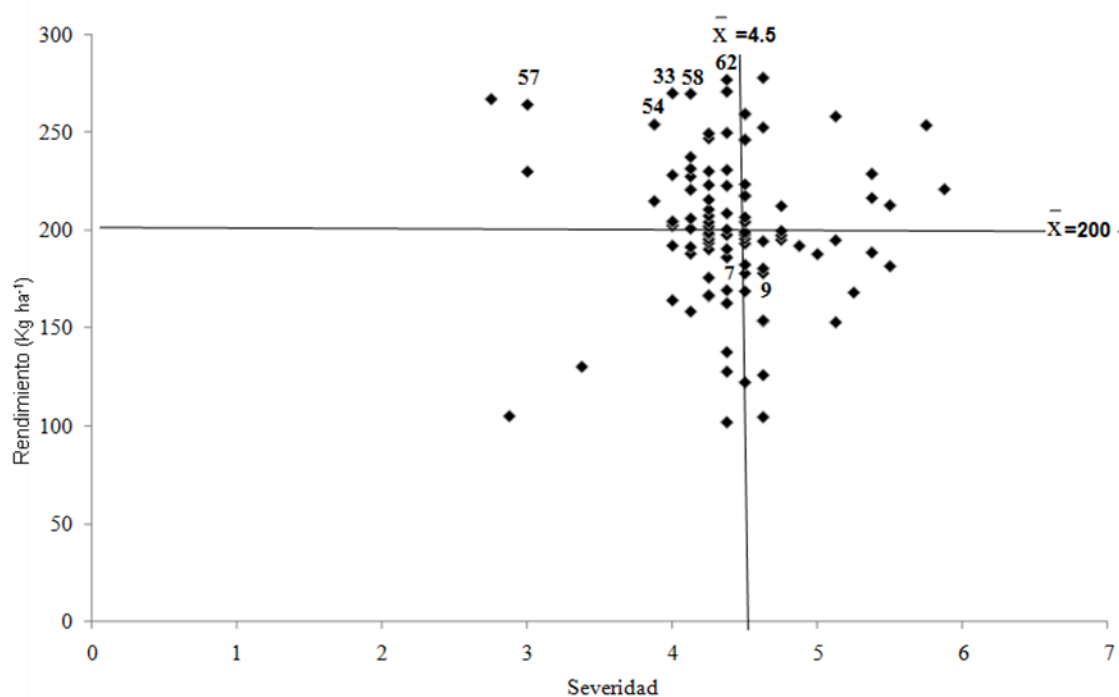


Figura 6. Relación entre la severidad de la Pudrición carbonosa y del rendimiento de 100 LERs de frijol común en ocho ambientes de Veracruz y Tamaulipas, México.

#### 4.5 Ensayos de campo de LERs de frijol seleccionadas en Tamaulipas

En este ensayo se incluyeron los 10 genotipos (Pinto Anzaldúas, Negro Michigan, LER-62, LER-58, LER-33, LER-54, LER-57, LER-58, BAT-477, PINTO UI-114) y los ambientes de prueba utilizados fueron Río Bravo y Díaz Ordaz Tamaulipas.

El ANVA combinado del rendimiento de grano (Cuadro 6) indicó diferencias significativas entre localidades (Exp.), genotipos (Gen.) y la interacción (Exp.\*Gen.). Las comparaciones de medias indicaron que en Río Bravo la LER 33 mostró el mayor REND, seguida de Pinto San Juan y LER-62; mientras que en Díaz Ordaz el progenitor BAT-477 y las LERs 54 y 57 mostraron los mayores REND, aunque iguales estadísticamente al resto. Cuando se compararon los REND de las dos localidades de prueba las LERs 33 y 62; BAT 477 y Negro Michigan mostraron los mayores REND (Cuadro 7).

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado del rendimiento de grano de diez genotipos de frijol cultivados en dos experimentos en el norte de Tamaulipas 2009.

| Fuente de Variación | g. l. | Cuadrados Medios |
|---------------------|-------|------------------|
| Experimento (Exp.)  | 1     | 325459**         |
| Genotipo (Gen.)     | 9     | 33177*           |
| Repetición          | 4     | 122309 NS        |
| Exp. x Gen.         | 9     | 110226*          |
| Error               | 36    | 47751            |

g.l.= grados de libertad, CM cuadrados medios, NS no significativo, significativo .01\*\*significativo .05

Cuadro 7. Promedios del rendimiento de grano de diez genotipos de frijol cultivados en localidades del norte de Tamaulipas 2009.

| Genotipo        | Río Bravo | Díaz Ordaz          | Promedio |
|-----------------|-----------|---------------------|----------|
|                 |           | Kg ha <sup>-1</sup> |          |
| Pinto Anzaldúas | 723 c     | 542 b               | 632 b    |
| Negro Michigan  | 742 c     | 621 b               | 681 a    |
| Pinto San Juan  | 922 b     | 333 b               | 627 b    |
| LER-62          | 878 b     | 601 b               | 739 a    |
| LER-33          | 1117 a    | 582 b               | 849 a    |
| LER-54          | 493 d     | 728 a               | 610 b    |
| LER-57          | 637 c     | 752 a               | 694 a    |
| LER-58          | 638 c     | 589 b               | 613 b    |
| BAT 477         | 679 c     | 798 a               | 738 a    |
| Pinto UI-114    | 191 d     | 600 b               | 395 b    |
| Media           | 702       | 615                 | 658      |
| DMS (P ≤ .05)   | 362       | 362                 | 256      |

DMS= diferencia mínima significativa, Letras iguales dentro de la misma columna indican que no hay diferencia significativa.

## 4.6 Ensayos en condiciones de invernadero en Marín, Nuevo León

### 4.6.1 Parámetros fisiológicos

Para cumplir con el objetivo II.1 (2), de caracterizar parámetros fisiológicos y morfológicos de los genotipos seleccionados, el germoplasma de frijol se evaluó en condiciones controladas en Marín, Nuevo León. El ANVA detectó diferencias significativas para fotosíntesis entre genotipos. Los valores más altos fueron para Pinto Anzaldúas y la LER 58 (Cuadro 8 y 9).

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza de de variables fisiológicas de diez Genotipos de frijol común.

| Fuente<br>De variación | Cuadrados Medios |              |              |             |
|------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
|                        | g. l.            | Fotosíntesis | Traspiración | No. estomas |
| Genotipos              | 8                | 11.38 **     | 1.51         | 31.65 **    |
| Condición              | 1                | 5.56 NS      | 2.36**       | 439.18 **   |
| Gen.*Condición.        | 8                | 5.99 *       | 1.12 **      | 24.64 **    |
| ERROR                  | 36               | 2.87         | 0.39         |             |
| CV                     |                  | 11           | 23           | 27          |

g.l.= grados de libertad, CM cuadrados medios, CV coeficiente de variación NS no significativo, \*\* significativo .01\*\* significativo .05

Cuadro 9. Comparación de medias para las variables de eficiencia fisiológica peso seco de hojas de genotipos de frijol común.

| GENOTIPOS            | Peso seco de<br>hojas (g) | Fotosíntesis<br>( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |
|----------------------|---------------------------|--|
| Pinto Anzaldúas      | 0.219 a                   | 19.9 a   |
| Pinto UI-114         | 0.204 b                   | 16.7 b   |
| Pinto San Juan       | 0.167 c                   | 16.5 b   |
| LER-62               | 0.163 c                   | 18.0 b   |
| LER-33               | 0.149 c                   | 16.4 b   |
| LER-57               | 0.125 c                   | 16.5 b   |
| LER-58               | 0.163 c                   | 19.3 a   |
| Bat-477              | 0.149 c                   | 16.7 b   |
| Negro Michigan       | 0.142 c                   | 16.8 b   |
| Media                | 0.164                     | 17.5   |
| DMS ( $P \leq .05$ ) | 0.0503                    | 2.8  |

Letras iguales dentro de la misma columna indican que no hay diferencia significativa.

Para la tasa transpiratoria se detectaron diferencias significativas entre condición, y la interacción genotipo x condición (riego-sequía) (Cuadro 8). La mayor tasa transpiratoria se detectó en Pinto Anzaldúa y la LER 58 en condiciones de riego (Cuadro 10). En cuanto al número de estomas por hoja, el ANVA mostró diferencias significativas entre genotipos, condición y la interacción genotipo x condición (Cuadro 8); Pinto San Juan exhibió los promedios mayores en riego (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comparación de medias de la interacción riego-sequia de las variables transpiración y número de estomas en riego y sequia, de LERs progenitores y variedades comerciales de frijol común

| Genotipo             | Transpiración<br>( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) |        | Número de<br>estomas( $\text{mm}^{-2}$ ) |        |
|----------------------|---|--------|--|--------|
|                      | Riego   | Sequia | Riego                                    | Sequia |
| Pinto Anzaldúas      | 5.1 a   | 2.5 a  | 4.3 c                                    | 9 b    |
| UI-114               | 4.0 b   | 2.6 a  | 5.5 b                                    | 11.3 a |
| Pinto San Juan       | 4.3 b   | 1.9 a  | 12.0 a                                   | 11.0 b |
| LER-62               | 3.2 c   | 2.6 a  | 2.0 d                                    | 7.3 b  |
| LER-33               | 1.7 d   | 2.3 a  | 2.0 d                                    | 12.0 a |
| LER-57               | 3.3 c   | 2.5 a  | 4.0 d                                    | 12.6 a |
| LER-58               | 4.8 a   | 2.6 a  | 2.6 d                                    | 14.0 a |
| Bat-477              | 4.4 c   | 2.2 a  | 3.0 d                                    | 11.0 a |
| Negro Michigan       | 3.7 c   | 2.6 a  | 7.0 c                                    | 13.6 a |
| Media                | 2.9   | 2.5    | 4.7                                      | 4.7    |
| DMS ( $P \leq .05$ ) | 1.03  | 1.03   | 3.5                                      | 3.5    |

Letras iguales dentro de la misma columna indican que no hay diferencia significativa.

#### 4.6.2 Eficiencia fisiológica

El ANVA de las variables relacionadas con la evaluación de eficiencia fisiológica del germoplasma de frijol (peso de hoja, tallo, raíz) y la altura de la planta, no detectó diferencias significativas entre las fuentes de variación salvo el peso de hojas entre genotipos (Cuadro 11) , donde Pinto Anzaldúas exhibió el promedio mayor (Cuadro 9).

Cuadro 11. Cuadrados medios de análisis de varianza de eficiencia fisiológica para peso de hoja, tallo, raíz y altura de planta de genotipos, bajo dos condiciones de humedad.

| Fuente de Variación | g. l. | <u>Cuadrados Medios</u> |            |        |           |
|---------------------|-------|-------------------------|------------|--------|-----------|
|                     |       | Hoja                    | Tallo      | Altura | Raíz      |
| Temperaturas        | 1     | 0.00009 NS              | 0.00003 NS | 2.6 NS | 0.0004 NS |
| Temp*Rep            | 2     | 0.00135 NS              | 0.00044 NS | 1.6 NS | 0.0032 NS |
| Gen                 | 9     | 0.00353 **              | 0.00078 NS | 7.4 NS | 0.0008 NS |
| Tem*Gen             | 9     | 0.0009 NS               | 0.00096 NS | 3.7 NS | 0.0003 NS |
| Error               | 18    | 0.0008                  | 0.00083 NS | 5.0 NS | 0.0008 NS |
| CV (%)              |       | 18                      | 29         | 11     | 42        |

CM=cuadrados medios, CV coeficiente de variación NS no significativo, \*\* significativo .01\*\*significativo .05

## V. DISCUSIÓN

Para dar cumplimiento al primer objetivo de comparar los modelos de estabilidad de Eberhart y Rusell (1966), AMMI (Gauch y Zobel, 1996) y el BIPLLOT para caracterizar la estabilidad del rendimiento de grano y la resistencia a pudrición carbonosa en LERs de frijol común se realizaron los análisis pertinentes.

Las líneas que presentaron estabilidad  $B_1=1$  con base en el modelos de Eberhart y Rusell (1966) para rendimiento de grano fueron; las LERs: 11, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 26, 27, 30, 32, 34, 35, 43, 54, 56, 57, 58, 59, 63, 67, 68, 73, 75, 76, 77, 80, 83, 86, 87, 92, 94, 95, 96 y 100, mientras que las que presentaron estabilidad con el modelo AMMI ( $CP=0$ ) fueron: con el CP1, las LERs 2, 18, 26, 27, 32, 34, 61, 71, 77, 78, 84, 96 y 97 y con el CP2 fueron las LERs 40, 42, 46, 59, 69, 71, 80, 86 y 90.

Con el modelo de Eberhart y Rusell el 36% de las LERs fueron estables y con el AMMI solamente 22%. EL 11% de las LERs mostraron coincidencia de estabilidad con ambos modelos (LERs; 18, 26, 27, 32, 34, 59, 77, 80, 86, 77 y 90).

Para el caso de interacción negativa con adaptación a ambientes desfavorables ( $B_1<1$ ) el modelo de Eberhart y Rusell (1966) mostró a las LERs; 1, 2, 3, 4, 5, 6, BAT-477 (7), 8, 12, 13, 14, 20, 23, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 69, 70, 71, 78, 79, 81, 82, 84, 88, 89, 90, 97, 98 y 99, (48%) mientras que el modelo AMMI en base a los CP1 y CP2 ( $CP<0$ ) fueron las LERs 2, 4, 6, BAT-477 (7), UI-114 (9), 11, 12, 15, 16, 21, 22, 29, 31, 36, 37, 38, 39,

40, 46, 47, 49, 51, 52, 63, 65, 66, 69, 81, 88, 89, 90 y 97. (32%). Al revisar cada uno de los grupos, se observó que hubo concordancia entre ambos modelos en 18 LERs: 12, 36, 37, 38, 39, 40, 46, 47, 49, 52, 65, 66, 69, 81, 88, 89, 90 y 97.

Para el caso de las interacciones positivas ( $B > 1$ ) con adaptación a buenos ambientes, el modelo de Eberhart y Russell 48% mostró a las LERs, Pinto UI-114 (9), Pinto UI-114 (9), 10, 15, 24, 25, 28, 29, 31, 44, 50, 51, 55, 72, 74, 91 y 93 (17%), mientras que este tipo de comportamiento con el AMMI ( $CP > 0$ ) fueron las LERs; 1, 3, 5, 10, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 58, 60, 61, 62, 64, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99 y 100 (65%). Con el modelo de Eberhart y Russell el 17% de los genotipos responden a ambientes favorables; sin embargo, para AMMI fueron el 65%.

Las Líneas que mostraron el mismo comportamiento en ambos modelos fueron; las LERs 10, 15, 28, 29, 44, 50, 55, 72, 74, 91 y 93 (11%).

El análisis general para rendimiento de grano indicó una mayor proporción de genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables ( $B_1 < 1$ ) con el modelo de Eberhart y Russell seguidos de los que presentaron estabilidad o no interacción ( $B_1 = 0$ ) y finalmente de los de respuesta a ambientes favorables ( $B_1 > 1$ ), mientras que con el AMMI la mayor proporción de las LERs fue para ambientes favorables ( $CP > 0$ ), seguidos de los que respuesta en ambientes desfavorables ( $CP < 0$ ) y de los que presentaron estabilidad o no interacción ( $CP = 0$ ). El análisis con el modelo de



Eberhart y Rusell para rendimiento muestra la LER 57 estable pero además es la única que presenta consistencia ( $B_1=0$ ) de acuerdo a la clasificación Carballo y Márquez (1970; además ubica al progenitor Pinto UI-114 con respuesta en ambientes favorables y al progenitor BAT-477 con respuesta en ambientes desfavorables lo cual es de esperarse de acuerdo al comportamiento de estos genotipos reportado por (Mayek-Pérez *et al.*, 2000, 2002 y 2009), sin embargo con el modelo AMMI ubican a los progenitores con buena respuesta en ambientes desfavorables.

Con respecto a la respuesta a pudrición carbonosa, las líneas que presentaron estabilidad ( $B_1=1$ ) con base en el modelo de Eberhart y Rusell (1966) fueron las LERs; 1, 3, 6, 8, 11, 13, 14, 18, 21, 22, 26, 27, 29, 35, 42, 47, 48, 49, 51, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 64, 65, 67, 69, 71, 73, 77, 78, 82, 85, 87, 94, 98, 99 y 100 (40%), mientras que las LERs que se identificaron como estables ( $CP=0$ ) con el modelo AMMI el CP1 fueron; 18, 26, 27, 32, 34, 61, 71, 77, 78, 84, 96 y 97 y para el CP2 fueron; 40, 42, 46, 59, 69, 71, 80, 86 y 90, en total 22% . Al comparara ambos modelos hubo un 7% de coincidencia de las LERs: 18, 26, 27, 59, 69, 71 y 78.

Para el caso de las LERs con una interacción negativa ( $B_1<1$ ), el modelo de Eberhart y Rusell (1966) mostró a las LERs; 4, 5, 7, 9, 12, 15, 16, 17, 19, 20, 23, 24, 25, 28, 30, 33, 34, 38, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 50, 60, 63, 68, 74, 75, 79, 80, 83, 85, 88, 89, 91, 92 y 95 (40%), mientras que con el modelo AMMI ( $CP<0$ ), tomando el CP1 y CP2 fue el 72%, con las LERs 1, 2, 3, 4, 5, 6, BAT-477 (7), 8, UI-114 (9), 10, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 22, 27, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 46, 47, 48, 49, 50, 55, 57,

58, 60, 61, 62, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 79, 81, 82, 83 y 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97 98 y 99. Las LERs que coinciden con ambos modelos fueron (22%): 4, 5, BAT-477 (7), 12, 15, 16, 17, 30, 34, 39, 41, 46, 50, 68, 74, 79, 83, 85, 88, 89, 91 y 95.

Para los resultados donde la interacción fue positiva ( $B_1 > 1$ ) con Eberhart y Rusell fueron las LERs; 2, 10, 31, 32, 36, 37, 40, 53, 57, 61, 62, 66, 70, 72, 76, 81, 84, 90, 93, 97 que corresponde al 20%, mientras que con el modelo AMMI ( $CP > 0$ ) fue el 28% en las LERs: 11, 14, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 31, 33, 38, 43, 44, 45, 51, 52, 53, 54, 56, 59, 63, 64, 65, 66, 75, 76, 80, 92 y 100. Entre ambos modelos solo coincidió el 4% (LERs: 31, 53, 66 y 76).

Al comparar los resultados para rendimiento de grano y pudrición carbonosa los resultados de los análisis de estabilidad con los modelos de Eberhart y Rusell (1966) y AMMI (2001) evidenciaron un comportamiento diferencial entre genotipos (líneas y progenitores) ya que los porcentajes de coincidencia en los genotipos identificados para cada tipo de ambientes fue baja. Estas diferencias en el comportamiento de genotipos analizados con ambos modelos se podrían explicar en base a la naturaleza compleja de la combinación de técnicas (Carbonell *et al.*, 2004) y además a las diferencias en la forma de como cada modelo actúa, es decir, el modelo de Eberhart y Rusell (1966) utiliza datos fenotípicos que incluyen efectos aditivos (Genotipo + Ambiente) como efectos multiplicativos (Interacción Genotipo x Ambiente) mientras que el modelo AMMI solo utiliza datos multiplicativos.

Si se analiza la complejidad de las diferencias existentes entre ambientes de prueba, principalmente humedad, textura, pH y altitud así como a la presencia diferencial a factores bióticos como la misma pudrición carbonosa cuya amplitud de la reacción es influenciada por factores ambientales como los antes mencionados (Abawi y Pastor-Corrales, 1990; Olaya *et al.*, 1996; Mayek-Pérez *et al.*, 2009), pudiera explicarse como el efecto ambiental juega un papel importante en las diferencias observada entre ambos modelos; sin embargo, existen reportes donde se compararan ambos (AMMI y Eberhart y Russell) como el de Santos Pereira *et al.* (2009) en frijol donde se muestra similitud en la clasificación entre genotipos, ambientes y años de evaluación aunque los autores mencionaron que existe una correlación intermedia entre resultados. Por otra parte, Silva y Duarte (2006) y Melo *et al.* (2007) detectaron baja correlación entre las clasificaciones de germoplasma resultantes del análisis con los métodos de Eberhart y Russell y AMMI pero indicando que el uso conjunto de ambos métodos podrían complementarse entre sí, pues mientras que Eberhart y Russell muestra el comportamiento del genotipo en cada ambiente, el modelo AMMI determina la contribución de los genotipos a la interacción genotipo x ambiente (Santos Pereira *et al.*, 2009); además una ventaja adicional de AMMI, es que facilita el mejor entendimiento de la interacción hospedante-patógeno, la adaptabilidad de los aislamientos del patógeno a genotipos específicos del hospedante y la mejor discriminación del germoplasma con base en su reacción al patógeno, lo que es útil en programas de mejoramiento genético de la resistencia a enfermedades en ambientes específicos (Nayak *et al.*, 2008).

En otros trabajos se compara el AMMI con otras metodologías uni o multivariadas para probar su eficiencia en la detección de germoplasma estable y diseccionar la interacción con el ambiente de prueba en frijol y otros cultivos (Carbonell *et al.*, 2004; Dehghani *et al.*, 2008; Fikere *et al.*, 2009; Santos Pereira *et al.*, 2009; Tamkoc *et al.*, 2009; Williams-Alanís *et al.*, 2010). Por ejemplo, en sorgo cultivado en Tamaulipas, México, Williams-Alanís *et al.* (2010) determinaron que el AMMI retuvo 75% de la suma de cuadrados total del análisis de varianza y el residual sólo fue de 4%; aunque no se detectó asociación entre los híbridos más productivos y los mejores ambientes de producción; sin embargo, a pesar de que el AMMI simplifica la identificación de germoplasma estable por inspección visual y provee de información de los ambientes; comparado con otros métodos de clasificación, es relativamente más complicado en su interpretación de resultados y en ocasiones no muestra fuerte asociación entre la estabilidad y el rendimiento alto del germoplasma en evaluación (Carbonell *et al.*, 2004).

.

En este trabajo, el análisis Biplot adicional al AMMI, simplificó la visualización de la respuesta del germoplasma a *M. phaseolina* (seis sectores) y el comportamiento en el rendimiento de grano (cinco sectores) a través de ambientes y, también, genotipos con rendimientos de grano superiores y menores daños por pudrición carbonosa. En los gráficos, los genotipos, que se encuentran ubicados dentro de los vértices de los sectores que forman un polígono, tuvieron y son los que mas contribuyen a la Interacción Genotipo x Ambiente. Con el gráfico 'Biplot' los resultados pueden considerarse como predictivos para el comportamiento de los genotipos en estas mismas localidades para futuros años de evaluación.

Por lo tanto, la información obtenida en este trabajo se puede utilizar en la selección de germoplasma de frijol por alto y estable rendimiento de grano y tolerancia a *M. phaseolina* utilizando los modelos de Eberhart y Rusell para observar tendencias y el AMMI para identificar interacciones significativas en ambientes con características a los incluidos en este estudio. Adicionalmente, el análisis 'Biplot' puede determinar 'mega-ambientes' de evaluación de una especie cultivada de interés. De esta forma, germoplasma específico puede recomendarse en cada caso para que pueda alcanzarse la adaptación y comportamiento óptimo.

Independientemente del modelo utilizado los análisis de estabilidad del rendimiento o de respuesta a factores adversos son una poderosa herramienta para evaluar la interacción  $G \times A$ , pero no son suficientes para decidir que genotipos debería recomendarse para la producción pues el fitomejorador se interesa generalmente en seleccionar materiales que se comportan bien en un ambiente determinado y que además presenten una interacción positiva con un mejor ambiente, lo que permitiría obtener una respuesta favorable a los insumos o condiciones favorables de manejo que se impongan en cada ambiente o sistema de producción. De esta manera es importante, además de estos análisis la caracterización del material identificado, ya que existen entre variables como días a floración altura de planta, etc. que pudieran ser mas determinantes entre el éxito de un sistema de producción que la estabilidad misma. Por ello es importante considerar en forma simultánea las características que se están evaluando y los parámetros de estabilidad que se están considerando.

En cuanto al segundo objetivo de evaluar agronómica y fisiológicamente LERs de frijol común seleccionadas por rendimiento de grano y menor severidad del daño causado por *Macrophomina phaseolina*.

Con los datos de la reacción a *M. phaseolina* y del rendimiento de semilla de las 98 LERs evaluadas en Cotaxtla e Isla, Veracruz (2007) y los de Tamaulipas (Río Bravo y Díaz Ordaz de 2008). El ANVA no detectó diferencias entre LERs para REND y SEV. Con base en lo anterior se seleccionaron para los posteriores ensayos preliminares de rendimiento de grano, cinco LERs que presentaron los más altos rendimientos promedio de grano en los ocho ambientes de prueba así como los menores promedios de severidad de *M. phaseolina*. Las cinco LERs seleccionadas fueron 33, 54, 57, 58 y 62; sin embargo, existen numerosos trabajos donde se aplican herramientas diferentes como la utilizada en este trabajo, como son los índices de selección que requieren de información extra que saldría de los propósitos de este trabajo. Sin embargo al seleccionar estos materiales con los criterios de selección antes mencionados, se encontró de acuerdo a los valores de rendimiento de grano en campo y de las características fisiológicas consideradas en los trabajos bajo condiciones controladas, que el testigo Pinto Anzaldúas y la LER 58 fueron superiores al resto del germoplasma evaluado en (30% tasa transpiración-riego, 17% tasa fotosintética). Además de mostrar características fisiológicas favorables como mayor tasa transpiratoria ( $5.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), tasa fotosintética ( $19.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y número de estomas ( $19.6 \text{ mm}^{-2}$ ) por hoja, similares al progenitor resistente BAT-477. Sin embargo, no se detectaron diferencias para estas variables entre condiciones de humedad (riego-sequía), contrario a lo reportado por Mayek-Pérez *et al.* (1997;

2002); Pastenes *et al.* (2004); Castañeda *et al.* (2006) y Wentworth *et al.* (2006), quienes encontraron reducciones mayores al 50% en la fotosíntesis cuando sometieron plantas de frijol a estrés por sequía. Estos reportes son similares a los encontrados por Reymond *et al.* (2003) quienes mencionaron que las plantas, para mantener su potencial hídrico foliar, realizan disminución de la tasa de transpiración y de fotosíntesis, además de reducciones en la conductancia estomática, y de la expansión de la hoja.

En nuestro trabajo la fotosíntesis se afectó por las condiciones que se presentaron durante el desarrollo del trabajo, ya que al momento de las lecturas, las plantas mostraban claros síntomas de amarillamiento causado por diferentes factores como enfermedad, sequía y altas temperaturas que redujo la expresión de dicha variable a valores más altos ( $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). La transpiración presentó diferencias significativas en la interacción genotipo x condición de humedad. Este resultado se podría asociar con al número de estomas en las hojas, pues aquellos genotipos con altas tasas de transpiración como Pinto San Juan ( $4.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) mostraron también mayores números de estomas y, por el contrario, los genotipos con menor transpiración exhibieron menor número de estomas como fue el caso de BAT-477 ( $11 \text{ mm}^{-2}$ ) considerado como resistente a sequía y a *M. phaseolina*. Posiblemente la resistencia a sequía mostrada por este genotipo se asocia con el número de estomas útil para el control de la transpiración.

Estos resultados mostraron que al menos una línea de las 5 seleccionadas fue superior a los dos testigos regionales utilizados en esta investigación y que el método de selección utilizado mostro ser útil.



## VI. CONCLUSIONES

1. El análisis para rendimiento de grano identificó una mayor proporción de genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables con el modelo de Eberhart y Rusell seguidos de los que presentaron estabilidad o no interacción y finalmente los de respuesta a ambientes favorables; mientras que con el modelo AMMI la mayor proporción de genotipos identificados fue para ambientes favorables, seguidos de los que respuesta en ambientes desfavorables y de los que presentaron estabilidad o no interacción.
2. El análisis de datos de rendimiento de grano y respuesta a enfermedades como la pudrición carbonosa con modelos como AMMI más el biplot y Eberhart y Russell, aunque no fueron coincidentes los genotipos identificados en cada categoría no resultaron ser complementarios en sus resultados para seleccionar germoplasma estable en su rendimiento y tolerancia a *M. phaseolina* para los agro-ecosistemas de prueba.
3. El análisis con el modelo de Eberhart y Rusell para rendimiento muestra la LER 57 con estabilidad y consistencia de acuerdo a la clasificación Carballo y Márquez (1970), además ubica al progenitor UI-114 con respuesta en ambientes favorables y al progenitor BAT-477 con respuesta en ambientes desfavorables; sin embargo, con el modelo AMMI los dos progenitores se ubican dentro de aquellos que presentan respuesta en ambientes desfavorables. De acuerdo a estos resultados el modelo de

Eberhart y Rusel, (1966) mostro una evaluación congruente con el origen de las LERs y con una respuesta esperada para los progenitores.

4. En este trabajo, el análisis' Biplot' adicional al AMMI simplificó la visualización de la respuesta del germoplasma a *M. phaseolina* (seis sectores) y el comportamiento en el rendimiento de grano (cinco sectores) a través de ambientes y genotipos con rendimientos de grano superiores y menores daños por pudrición carbonosa.

5. Cinco líneas sobresalientes por su resistencia a *M. phaseolina* y su rendimiento de grano alto y estable a través de años, localidades y condiciones de humedad contrastantes se pudieron seleccionar y evaluar en condiciones controladas y de campo. Al menos la LER 58 superó a los testigos regionales en cuando a rendimiento de grano, tolerancia a la enfermedad y comportamiento fisiológico que la convierte en un genotipo promisorio para su posterior registro y liberación como germoplasma apto para las condiciones agro-ecológicas de la región de estudio.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Abawi, G. S., and M. A. Pastor-Corrales. 1990. Root rots of beans in Latin America and Africa: Diagnosis, research methodologies, and management strategies. CIAT Cali, Colombia. 114 p.
- Acosta-Gallegos, J. A., E. Acosta-Díaz, S. Padilla-Ramírez, E. López-Salinas, R. A. Salinas-Pérez, N. Mayek-Pérez, and J. D. Kelly. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. Annual Report. Bean Improvement. Cooperative. 41: 151-152.
- Acosta-Gallegos, J. A., R. Rosales-Serna, R. Navarrete-Maya y E. López-Salinas. 2000. Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. Agricultura Técnica. 26:79-98.
- Allard, R. W. and A. D. Bradshaw. 1964. Implication of Genotype environment interaction, in applied plant breeding. Crop Science. 4: 503-509.
- Almeida, A. M. R., L. Amorim, F. Bergamin, A. E. Torres, J. R. B. Farias, L. C. Benato, M. C. Pinto, and N. Valentim. 2002. Progress of soybean charcoal rot under tillage and no-tillage systems in Brazil. Fitopatología Brasileira. 28:131–135.
- Baird, R. E., P. A. Wadl, T. Allen, D. Allen, DcNeill, X. Wang, J. K. Moulton, T. A. Rinehart, H. K. Abass, T. Shier and R. N. Trigian. 2010. Variability of United States of *Macrophomina phaseolina* base on simple sequence reportand cross genus transferability to repeat genera within *Botryosphaeriaceae*. Mycopatologia. 170: 169-180.
- Becker, H.C., J. León. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breed. 101. (1): 1-123.
- Beebe, S. E., and M. A. Pastor-Corrales. 1991. Breeding for disease resistance. In A. van Schoonhoven and O. Voysest (ed.) Common beans: Research for crop improvement. C.A.B. Intl., Wallingford, UK and CIAT. Colombia. pp 561–617.
- Beebe, S. E., M. Rojas, X. Yan, M. W. Blair, F. Pedraza, F. Muñoz, J. Tohme, J. P. Bray E. A. Bailey-Serres, J. E. Weretilnyk. 2000. Responses to abiotic stresses. In: Biochemistry and Molecular Biology of Plants. pp1158–1203.

- Benavides, M. A. 2002. Ecofisiología y química del estrés en plantas. Departamento de agricultura/UAAAN.
- Bray, E. A., J. Bailey Serres, E. Weretilnyk. 2000. Responses to abiotic stresses. In: Biochemistry and Molecular Biology of Plants. pp1158–1203.
- Burgueño, J., J. Crossa, M. Vargas. 2001. SAS Programs for graphing GE and GGE biplot. The AMMI analysis and graphing the biplot. Biometrics and Statistics Unit CIMMYT. México.
- Carballo, C., F. Márquez. 1970. Comparación de variedades de maíz EO1 y de la mesa del Bajío y de la mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia*. 5. (1): 129-146.
- Carbonell, S. A. M., J. A. A., Filho, L. A. S. Dia, A. F. F. Garcia, L. K. Morais. 2004. Common bean cultivars and lines interactions with environments. *Science .Agriculture*. 61. (2): 169-177.
- Castañeda Saucedo, M. C., Córdoba Tellez L. Gózales Hernández, V. Delgado Alvarado, A. Santa Cruz V. y G. García de los Santos. 2006. Respuestas Fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico. *Interciencia*. 31: 461-466.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1987. Standard system for the evaluation of bean germplasm. A. V. Schoonhoven and M. A. Pastor-Corrales. Cali, Colombia. 111 p.
- Cornejo, O. E. 2002. Factores ambientales que originan el estrés. Ecofisiología y química del estrés en plantas. Departamento de agricultura/UAAAN.
- Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in Agronomy* 44: 55-85.
- Cubero, J. I., F. Flores. 1994. Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. A. G. Novograf. 170 p.

- De la Peña-Devesa, D., S. Hernández-Delgado, M. A. Cantú-Almaguer, A. L. Arroyo-Becerra, M. A. Villalobos-López, J. M. González-Prieto, N. Mayek-Pérez. 2009. Methods for *Macrophomina phaseolina* inoculation in common beans. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative. 52: 94-95.
- Dehghani, H., S. H. Sabaghpour and N. Sabaghnia. 2008. Genotype x Interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stabilities. Agricultural Research. 6. (3): 385-394.
- Dhingra, O. D., and J. B. Sinclair. 1978. Biology and Pathology of *Macrophomina phaseolina*. Universidade. Federal de Vicosa. 116 p.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 6: 36-40.
- Falconer, D. S. 1952. The problem of environment and selection. American Naturalist. 86: 293-298.
- Feys, B. J., and J. E. Parker. 2000. Interplay of signaling pathways in plant disease resistance. Trends in Genetics. 16: 449-455.
- Fikere, M., E. Fikere, T. Tadele and T. Legesse. 2009. Parametric stability analyses in field pea (*Pisum sativum* L.) under south Ethiopian condition. Agricultural Sciences. 5: 146-151.
- Fikere, M., T. Tadesse, and T. Letta. 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in south eastern Ethiopia. Biotechnology. 7: 2847-2853.
- Finlay, K.W., and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Agricultural Research. 14: 742-754.
- Gabriel, D. W., and B. G. Rolfe. 1990. Working models specific recognition in plant-microbe interactions. Annual Review. Phytopathology. 28: 365-391.
- Gauch Junior, H. G., R.E. Furnas. 1991. Statistical analysis of yield trials with Matmodel. Agronomy Journal. 83: 916-920.
- Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of regional yield trials by AMMI and GGE. Crop Science 46: 1488-1500.

- Gauch, H. G. and R. W. Zobel. 1996. Optimal replication in selection experiments. *Crop Science*. 36: 838–843.
- Gauch, H. G., R. E Furnas. 1991. Statistical analysis of yield trials with Matmodel. *Agronomy Journal*. 83: 916-920.
- González Huerta, A., J. Sahagún Castellanos, L. M. Vázquez García, J. C. González Pastenes y P. Horton. 2001. Efecto de la temperatura, el estrés hídrico y luminoso sobre la heterogeneidad del fotosistema II en cuatro variedades de poro (*Phaseolus vulgaris*). *Historia Natural*. 74: 1-20.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2004. Paquetes tecnológicos de producción agrícola ciclo otoño-invierno 2004-2005. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Sur de Tamaulipas. Pp. 14-18.
- Jacinto, H., J. A. Acosta Gallegos, A. Ortega. 1993. Caracterización del grano de variedades mejoradas de frijol en México. *Agricultura Técnica*. 19: 167:179.
- Jowett, D. 1972. Yield stability parameters for sorghum in East Africa. *Crop. Science*. 12: 314-317.
- Kornega, Y., J. White, J. LLano, G. H. Ramírez. 1997. Análisis dialélico para el rendimiento del frijol andino bajo condiciones de sequía y riego. Taller de mejoramiento del frijol para el siglo XXI. 74-78.
- Kramer, P. J. 1983. Drought Tolerance and Water Efficiency, in: *Water Relations of Plants*, Nueva York, Academy Press Inc. Pp 390-415.
- Laffont, J. L., M. Hanafi, K. Wright. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate interpretation of GGE biplots. *Crop Science*. 47: 990-996.
- Lamb, C., R. A. Dixon. 1997. The oxidative burst in plant disease resistance. *Annual. Review. Plant Physiology*. 48: 251-275.
- Larcher, W. 1995. *Plants Under Stress*. In: *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*, 3 ed. Springer-Verlag. Berlin. pp 321-448.

- León, H.C., C. Becker. 1988. Repeatability of Some Statistical Measures of Phenotypic Stability Correlations between Single Year Results and Multi Years Results. *Plant Breeding*. 100. (2): 137–142.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol 1. 2nd ed. Academic Press, New York. 477 p.
- Lin, C. S., M. R. Binns. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*. 68: 193-198.
- Lin, C. S., Binns, M. R., Levkovitch, L. P. 1986. Stability analysis: Where do we stand. *Crop Science*. 26: 894-900.
- Looney, N. E. 1997. Role of endogenous plant growth substances in regulating fruit tree growth and development. *Tree fruit Physiology*. Pp. 31-40.
- Márquez, F. 1991. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría, resultados. Tomo III. AGT editor S. A. México.
- Martínez-Garza, A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas. México. 756.
- Mayek-Pérez, N., E. López-Salinas, J. Cumpián-Gutiérrez, J. A. Acosta-Gallegos. 2001. Herencia de la resistencia genética a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.en frijol. *Agrociencia*. 35: 637-648.
- Mayek-Pérez, N., E. López-Salinas, J. Cumpián-Gutiérrez, J. A. Acosta-Gallegos. 2009. Herencia de la resistencia de campo a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. en líneas endogámicas recombinantes de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*. 27: 1-10.
- Mayek-Pérez, N., R. García-Espinosa, C. López-Castañeda, J. A. Acosta-Gallegos. 1999. Caracterización in vitro de aislamientos mexicanos de *Macrophomina phaseolina*. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 17: 83-90.
- Mayek-Pérez, N., R. García-Espinosa, C. López-Castañeda, J. A. Acosta-Gallegos, and J. Simpson. 2002. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought estrés. *Physiology. Molecular. Plant Pathology*. 60: 185-195.

- McDowell, J. M., and B. J. Woffenden. 2003. Plant disease resistance genes: recent insights and potential applications. *Trends Biotechnology*. 21: 178–183.
- Melo, L. C., P. G. Melo, L. C. Faria, J. L. C. de Díaz, M. J. Del Peloso, C. A. Rava, J. G. C. da Costa. 2007. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42: 715-723.
- Mihail, J. D., and S. J. Taylor. 1995. Interpreting of variability among isolates of *Macrophomina phaseolina* in pathogenicity, pycnidium production, and chlorate utilization. *Botany*. 73: 1596-1603.
- Nayak, D., L. K. Bose, S. Singh and P. Nayak. 2008. Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis of Host-Pathogen Relationship in Rice-Bacterial Blight Pathosystem. *Plant Pathology*. 24. (3): 337-351.
- Nielsen, E. T. and D. M. Orcutt, 1996. Physiology of plants under stress, abiotic factors. John Wiley and Sons, Inc. 605 Third Avenue, New York. Pp. 486-511.
- O'Neill, P. M., J. F. Shanahan J. S. Schepers. 2006. Use of Chlorophyll Fluorescence Assessments to Differentiate Corn Hybrid Response To Variable Water Condition. *Crop Science*. 46: 681-687.
- Olaya, G., G. S. Abawi, and N. F. Weeden. 1996. Inheritance of the resistance to *Macrophomina phaseolina* and identification of RAPD markers linked to the resistance genes in beans. *Phytopathology*. 86: 674-679.
- Padilla-Ramírez, J. S. 1994. Osmotic adjustment of Cotton (*G. hirsutum*. L.) in Response to Water Stress, Las Cruces, Nuevo México, Universidad de Las Cruces. 110 p.
- Passioura, J. B. 1996. Simulation models: Science, snake oil, education or engineering. *Agronomy Journal*. 88: 690-694.
- Pastes, C., P. Pimental and J. Lillo. 2004. Leaf movement and photoinhibition in relation to water stress in field grown beans. *Experimental Botany*. 56: 425-433.
- Pastor Corrales, M. A., C. Jara, and S. P. Singh. 1998. Pathogenic variation in, sources of, and breeding for resistance to *Phaeoisariopsis griseola* causing angular leaf spot in common bean. *Euphytica*. 103: 161–171.



- Pugnaire, F. I., L. Serrano Endolz, and J. Pardos. 1994. Constraints by stress on Plant Growth. In: Pessarakli, M (ed), Pp 247-259.
- Reyes-Franco, M. C., Hernández-Delgado, S., Medina-Fernández, M., N. Mayek-Pérez. 2005. Genetic variability of *Macrophomina phaseolina*, the causal agent of charcoal rot in common beans. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 48: 112-113.
- Riechmann, J. L., J. Heard, G. Martin, L. Reciber, C. Jiang, I. Adam, O. Pineda, O. J. Ratcliffe, R. Samaha, R. Creelman, M. Pligrim, P. Broun, D. Ghandenari, B. K. Sherman and G. Yu. 2000. Arabidopsis transcription factors: Genome wide comparative analysis among eukaryotes. Science 290: 2105–2110.
- Rojas Garcidueñas, M. y H. Ramírez. 1996. Control hormonal del desarrollo de las plantas, México, Limusa. 239 p.
- Rosales-Serna, R., J. A. Acosta-Gallegos, R. P. Durán-Durán, H. Guillén-Andrade, P. Pérez-Herrera, G. Esquivel-Esquivel, y J. S. Muruaga-Martínez. 2003. Diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Agricultura. Técnica. México. 29: 11-24.
- Ruiz-Medrano, R., Xoconostle-Cázares, B. and W. J. Lucas. 2001. The phloemas a conduit for inter-organ communication. Plant Biology. 4: 202-209.
- Santos Pereira, H., L. Cunha Melo, M. J. María José Del Peloso, L. G. Cláudio de Faria., Cápio da Costa, L. Cabrera Díaz. 2009. Comparison of methods for phenotypic adaptability and stability analysis in common bean. Pesquisas. Agropecuarias. 44. (4): 374-383.
- SAS Institute. 1998. SAS/STATR User Guide. Release 6.03 Edition.
- Schneider, K. A., M. E. Brothers, J. D. Kelly. 1997. Marker assisted selection to improve drought resistance in common bean. Crop Science. 37: 51-60.
- Serraj, R. and T. R. Sinclair. 2002. Osmolyte accumulation; can it really help increase crop yield under drought conditions. Plant cell environment. 25: 333-341.
- Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype environmental components of variability. Heredity 29: 237-245.

- Silva, W. C. J., y J. B. Duarte. 2006. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 41: 23-30.
- Singh, S. P. 1996. Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science*. 35: 118-124.
- Singh, S. P., H. Terán, J. A. Gutiérrez. 2001. Registration of SEA 5 and SEA 13 drought tolerant dry bean germplasm. *Crop Science*. 41: 276-277.
- Singh, S. P., J. A. Gutiérrez, A. Molina, C. Urrea and P. Gepts. 1991. Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker-based analysis of morphological and Agronomic traits. *Crop Science* 31: 23-29.
- Srinivasan, A., C. Johansen, and N. P. Saxena. 1998. Cold tolerance during early reproductive growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.): Characterization of stress and genetic variation in pod set. *Field Crops Research*. 57: 181-193.
- Su, G., S. O. Suh, R. W. Schneider and J. S. Russin. 2001. Host specialisation in the charcoal rot fungus, *Macrophomina phaseolina*. *Phytopathology*. 91: 120–126.
- Tai, G. C. 1971. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop Science* 11: 184-190.
- Tamoc, A., A. Ustun, S. Altinok, and E. Acikgoz. 2009. Biomass and seed stability pea genotypes. *Agricultural Environment*. 7. (1): 140-146.
- Tardieu, F., T. Lafarge, T. Simonneau. 1996. Stomatal control by feed or endogenous xylem ABA in sunflower: interpretation of correlations between leaf water potential and stomatal conductance in anisohydric species. *Plant Cell and Environment*. 19: 75–84.
- Turner, N. C. 1986. Adaptation to Water Stress Deficit : A Changing Perspective. *Plant Physiology*. 13: 175-190.
- Williams-Alanis, H., F. Zavala-García, R. Martínez-Hernández, S. E. Rangel-Estrada, y I. Machuca-Orta. 2004. Reacción a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid de híbridos comercial y experimentales de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para grano. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 22: 216-222.

- Yan, W. and L. A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype  $\times$  environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science*. 41: 19-25.
- Yates, f., W. C. Cochran. 1932. The analysis of groups of experiments. *Agriculture Science*. 28: 556-579.
- Zimmerman, U., F. C. Meinzer, R. Benkert, H. Schneider, G. Goldstein, E. Kuchenbrod A. Haase. 1994. Xylem water transport: is the available evidence consistent with the cohesion theory. *Plant Cell and Environment*. 17:1169-1181.
- Zobel, R. W., M. J. Wright, and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy. Journal*. 80: 388-393.

## VIII. APÉNDICE

Cuadro 1A. Estados productores y producción de frijol en México (Toneladas)

| ESTADO          | PRODUCCION (TON) |      |         |    |           |      |
|-----------------|------------------|------|---------|----|-----------|------|
|                 | OI 2007/08       | %    | PV 2008 | %  | AA 2008   | %    |
| ZACATECAS       | 21               | 0    | 251,838 | 31 | 251,859   | 22.4 |
| SINALOA         | 151,215          | 49.2 | 149     | 0  | 151,364   | 13.5 |
| DURANGO         | -                | 0    | 121,516 | 15 | 121,516   | 10.8 |
| CHIHUAHUA       | 2                | 0    | 85,358  | 10 | 85,360    | 7.6  |
| NAYARIT         | 77,216           | 25.1 | 447     | 0  | 77,663    | 6.9  |
| SAN LUIS POTOSI | 713              | 0.2  | 70,146  | 9  | 70,859    | 6.3  |
| CHIAPAS         | 25,027           | 8.1  | 43,890  | 5  | 68,917    | 6.1  |
| GUANAJUATO      | 2,127            | 0.7  | 58,748  | 7  | 60,875    | 5.4  |
| PUEBLA          | 359              | 0.1  | 42,856  | 5  | 43,216    | 3.8  |
| OAXACA          | 5,501            | 1.8  | 27,945  | 3  | 33,446    | 3.0  |
| OTROS           | 45,331           | 14.7 | 112,319 | 14 | 157,650   | 14.0 |
| TOTAL           | 307,512          |      | 815,212 |    | 1,122,724 |      |

Cuadro 2A. Significado de los parámetros de estabilidad obtenidos por la metodología de Eberhart y Russell propuesta por Carballo y Márquez (1970).

| Coeficiente de regresión<br>( $B_1$ ) | Cuadrado medio de la desviación de la regresión<br>( $S^2_{di}$ ) | Significado  |
|---------------------------------------|---|--|
| = 1                                   | = 0   | Variedad estable y predecible                                    |
| = 1                                   | > 0   | Buena respuesta en todos los ambientes, pero no predecible       |
| < 1                                   | = 0   | Mejor respuesta en ambientes desfavorables y predecible          |
| < 1                                   | > 0   | Mejor respuesta en ambientes desfavorables, pero poco predecible |
| > 1                                   | = 0   | Mejor respuesta en ambientes favorables y predecible             |
| > 1                                   | > 0   | Mejor respuesta en ambientes favorables, pero poco predecible    |

Cuadro 3A. Parámetros de estabilidad de acuerdo al modelo de Eberhart y Russell ( $B_1$  y  $S^2_{di}$ ) de 98 líneas y dos progenitores de frijol, para la variable rendimiento de grano en 16 ambientes de Veracruz (ocho) y Tamaulipas (ocho).

| Genotipo | Rendimiento<br>(Kg ha <sup>-1</sup> ) | $B_1$ |     | $S^2_{di}$ |     | Significado                    |
|----------|---------------------------------------|-------|-----|------------|-----|--------------------------------|
| 1        | 205                                   | 0.9   | < 1 | 248        | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 2        | 136                                   | 0.8   | < 1 | -31        | ≠ 0 | "                              |
| 3        | 184                                   | 0.8   | < 1 | -349       | ≠ 0 | "                              |
| 4        | 192                                   | 0.7   | < 1 | 6298       | ≠ 0 | "                              |
| 5        | 145                                   | 0.4   | < 1 | 9622       | 0   | Ambientes malos consistente    |
| 6        | 135                                   | 0.7   | < 1 | -1789      | ≠ 0 | "                              |
| 7        | 267                                   | 0.9   | < 1 | 8650       | 0   | "                              |
| 8        | 203                                   | 0.8   | < 1 | 11553      | 0   | "                              |
| 9        | 162                                   | 1.1   | < 1 | 8583       | 0   | "                              |
| 10       | 176                                   | 1.1   | < 1 | -416       | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 11       | 227                                   | 1.0   | = 1 | 1648       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 12       | 171                                   | 1.0   | < 1 | -196       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 13       | 189                                   | 0.9   | < 1 | 2540       | ≠ 0 |                                |
| 14       | 186                                   | 1.0   | < 1 | 1626       | ≠ 0 |                                |
| 15       | 201                                   | 1.1   | > 1 | -1089      | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 16       | 186                                   | 1.0   | = 1 | 1655       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 17       | 238                                   | 1.3   | = 1 | -1074      | ≠ 0 | "                              |
| 18       | 232                                   | 1.0   | = 1 | 5677       | ≠ 0 | "                              |
| 19       | 201                                   | 1.0   | = 1 | -526       | ≠ 0 | "                              |
| 20       | 159                                   | 0.8   | < 1 | 1276       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 21       | 175                                   | 1.1   | = 1 | -734       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 22       | 195                                   | 1.3   | = 1 | 1189       | ≠ 0 | "                              |
| 23       | 193                                   | 0.9   | < 1 | 2224       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 24       | 196                                   | 1.1   | > 1 | 2145       | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 25       | 188                                   | 1.1   | > 1 | 5508       | ≠ 0 | "                              |
| 26       | 192                                   | 1.1   | = 1 | -232       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 27       | 181                                   | 1.0   | = 1 | 1594       | ≠ 0 | "                              |
| 28       | 229                                   | 1.1   | > 1 | 2467       | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 29       | 179                                   | 1.1   | > 1 | 3575       | ≠ 0 | "                              |
| 30       | 175                                   | 1.0   | = 1 | -829       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 31       | 250                                   | 1.2   | > 1 | 4248       | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 32       | 162                                   | 1.0   | = 1 | 1135       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 33       | 124                                   | 0.8   | < 1 | 370        | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 34       | 171                                   | 1.1   | = 1 | 1160       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |

Continúa...

| Genotipo | Rendimiento<br>(Kg ha <sup>-1</sup> ) | B <sub>1</sub> | S <sup>2</sup> di |       |     | Significado                    |
|----------|---------------------------------------|----------------|-------------------|-------|-----|--------------------------------|
| 35       | 196                                   | 1.3            | =1                | 213   | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 36       | 178                                   | 0.9            | < 1               | -1694 | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 37       | 182                                   | 1.0            | < 1               | 4     | ≠ 0 | "                              |
| 38       | 233                                   | 1.0            | < 1               | 2033  | ≠ 0 | "                              |
| 39       | 211                                   | 0.9            | < 1               | 2321  | ≠ 0 | "                              |
| 40       | 198                                   | 1.0            | < 1               | -1323 | ≠ 0 | "                              |
| 41       | 219                                   | 1.1            | < 1               | 2644  | ≠ 0 | "                              |
| 42       | 179                                   | 0.7            | < 1               | -2076 | ≠ 0 | "                              |
| 43       | 265                                   | 1.2            | =1                | 4148  | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 44       | 256                                   | 1.3            | > 1               | 1387  | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 45       | 152                                   | 0.5            | < 1               | 1030  | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 46       | 193                                   | 1.0            | < 1               | -32   | ≠ 0 | "                              |
| 47       | 207                                   | 1.0            | < 1               | -603  | ≠ 0 | "                              |
| 48       | 199                                   | 1.0            | < 1               | 2285  | ≠ 0 | "                              |
| 49       | 171                                   | 0.6            | < 1               | 5015  | ≠ 0 | "                              |
| 50       | 205                                   | 1.1            | > 1               | 4618  | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 51       | 211                                   | 1.1            | > 1               | 5228  | ≠ 0 | "                              |
| 52       | 167                                   | 0.7            | < 1               | 5187  | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 53       | 95                                    | 0.6            | < 1               | -1090 | ≠ 0 | "                              |
| 54       | 236                                   | 1.3            | =1                | 2103  | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 55       | 214                                   | 1.1            | > 1               | 3624  | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 56       | 187                                   | 1.3            | =1                | 1800  | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 57       | 227                                   | 1.4            | =1                | 9134  | 0   | "                              |
| 58       | 201                                   | 1.4            | =1                | -1755 | ≠ 0 | "                              |
| 59       | 163                                   | 1.0            | =1                | -2132 | ≠ 0 | "                              |
| 60       | 159                                   | 0.9            | < 1               | 1034  | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 61       | 140                                   | 0.8            | < 1               | -196  | ≠ 0 | "                              |
| 62       | 142                                   | 0.9            | < 1               | 1874  | ≠ 0 | "                              |
| 63       | 212                                   | 1.0            | =1                | 661   | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 64       | 159                                   | 1.0            | < 1               | -873  | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 65       | 140                                   | 0.6            | < 1               | -2640 | ≠ 0 | "                              |
| 66       | 159                                   | 0.9            | < 1               | 926   | ≠ 0 | "                              |
| 67       | 168                                   | 1.0            | =1                | -2249 | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 68       | 193                                   | 1.5            | =1                | 3430  | ≠ 0 | "                              |

Continúa...

| Genotipo | Rendimiento<br>(Kg ha <sup>-1</sup> ) | B <sub>1</sub> | S <sup>2</sup> di |       |     | Significado                    |
|----------|---------------------------------------|----------------|-------------------|-------|-----|--------------------------------|
| 69       | 96                                    | 0.5            | < 1               | -2495 | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 70       | 132                                   | 1.0            | < 1               | -479  | ≠ 0 | "                              |
| 71       | 161                                   | 0.9            | < 1               | -1636 | ≠ 0 | "                              |
| 72       | 191                                   | 1.3            | > 1               | -653  | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 77       | 213                                   | 1.1            | = 1               | 3293  | ≠ 0 | "                              |
| 78       | 151                                   | 1.0            | < 1               | -1144 | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 79       | 160                                   | 0.9            | < 1               | -565  | ≠ 0 | "                              |
| 80       | 187                                   | 1.1            | = 1               | -509  | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 81       | 134                                   | 0.6            | < 1               | -1785 | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 82       | 196                                   | 1.0            | < 1               | -223  | ≠ 0 | "                              |
| 83       | 212                                   | 1.3            | = 1               | -1453 | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 84       | 136                                   | 0.9            | < 1               | -1787 | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 85       | 184                                   | 1.2            | = 1               | 1145  | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 86       | 153                                   | 1.0            | = 1               | 5841  | ≠ 0 | "                              |
| 87       | 183                                   | 1.2            | = 1               | 550   | ≠ 0 |                                |
| 88       | 183                                   | 0.8            | < 1               | 1346  | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 89       | 169                                   | 0.8            | < 1               | -1625 | ≠ 0 | "                              |
| 90       | 165                                   | 0.7            | < 1               | -1101 | ≠ 0 | "                              |
| 91       | 229                                   | 1.2            | < 1               | 146   | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 92       | 209                                   | 1.3            | = 1               | -94   | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 93       | 215                                   | 1.4            | > 1               | 2885  | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 94       | 174                                   | 1.0            | = 1               | -1689 | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 95       | 263                                   | 1.5            | = 1               | 2658  | ≠ 0 | "                              |
| 96       | 192                                   | 1.1            | = 1               | 446   | ≠ 0 | "                              |
| 97       | 147                                   | 0.9            | < 1               | -684  | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 98       | 159                                   | 0.7            | < 1               | 263   | ≠ 0 | "                              |
| 99       | 161                                   | 0.8            | < 1               | 120   | ≠ 0 | "                              |
| 100      | 222                                   | 1.2            | = 1               | -1304 | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |



Cuadro 4A. Parámetros de Eberhart y Rusell  $B_1$  y  $S^2_{di}$  de 98 líneas y 2 progenitores de frijol, parapara severidad de daño de la pudrición carbonosa en ambientes de Veracruz(ocho) en Tamaulipas (ocho).

| Genotipo | Severidad | $B_1$ |     | $S^2_{di}$ |     | Significado                    |
|----------|-----------|-------|-----|------------|-----|--------------------------------|
| 1        | 3.5       | 1.1   | =1  | -0.25      | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 2        | 3.3       | 1.1   | >1  | -0.33      | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 3        | 3.0       | 1.1   | =1  | -0.17      | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 4        | 3.2       | 1.0   | < 1 | 0.14       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 5        | 3.4       | 0.8   | < 1 | 0.17       | ≠ 0 | "                              |
| 6        | 3.5       | 1.1   | =1  | 0.24       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 7        | 2.9       | 0.8   | < 1 | 1.11       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 8        | 2.9       | 1.1   | =1  | 0.14       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 9        | 3.5       | 1.0   | < 1 | 0.72       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 10       | 3.3       | 1.2   | >1  | -0.20      | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 11       | 3.6       | 1.1   | =1  | 0.21       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 12       | 3.6       | 0.9   | < 1 | 0.77       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 13       | 3.3       | 1.1   | =1  | -0.50      | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 14       | 3.7       | 1.1   | =1  | -0.20      | ≠ 0 | "                              |
| 15       | 4.1       | 0.8   | < 1 | 0.36       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 16       | 3.8       | 1.0   | < 1 | 0.22       | ≠ 0 | "                              |
| 17       | 3.8       | 0.9   | < 1 | 0.25       | ≠ 0 | "                              |
| 18       | 3.5       | 1.1   | =1  | 0.28       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 19       | 3.3       | 1.0   | < 1 | 0.91       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 20       | 4.6       | 0.8   | < 1 | 0.25       | ≠ 0 | "                              |
| 21       | 3.7       | 1.1   | =1  | -0.53      | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 22       | 3.8       | 1.0   | =1  | -0.07      | ≠ 0 | "                              |
| 23       | 4.3       | 0.8   | < 1 | 1.38       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 24       | 4.5       | 0.9   | < 1 | -0.09      | ≠ 0 | "                              |
| 25       | 4.1       | 0.9   | < 1 | 1.09       | ≠ 0 | "                              |
| 26       | 3.8       | 1.0   | =1  | 0.72       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 27       | 3.0       | 1.1   | =1  | 0.13       | ≠ 0 | "                              |
| 28       | 3.5       | 0.7   | < 1 | 0.10       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 29       | 3.4       | 1.0   | =1  | 0.66       | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 30       | 4.1       | 0.9   | < 1 | 0.30       | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 31       | 3.3       | 1.2   | >1  | -0.21      | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 32       | 3.5       | 1.1   | >1  | 0.32       | ≠ 0 | "                              |
| 33       | 3.3       | 0.8   | < 1 | -0.26      | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |

Continúa ...

| Genotipo | Severidad | B <sub>1</sub> |     | S <sup>2</sup> di |     | Significado                    |
|----------|-----------|----------------|-----|-------------------|-----|--------------------------------|
| 34       | 3.5       | 0.9            | < 1 | 1.70              | ≠ 0 | "                              |
| 35       | 3.0       | 1.0            | =1  | -0.49             | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 36       | 3.3       | 1.2            | >1  | -0.42             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 37       | 3.7       | 1.2            | >1  | 0.82              | ≠ 0 | "                              |
| 38       | 3.5       | 1.0            | < 1 | 0.38              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 39       | 3.5       | 0.8            | < 1 | 0.08              | ≠ 0 | "                              |
| 40       | 3.6       | 1.1            | >1  | 0.11              | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 41       | 3.5       | 0.9            | < 1 | 0.25              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 42       | 3.7       | 0.9            | =1  | -0.03             | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 43       | 3.3       | 0.9            | < 1 | 0.28              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 44       | 3.6       | 0.7            | < 1 | 0.75              | ≠ 0 | "                              |
| 45       | 3.8       | 1.0            | < 1 | -0.22             | ≠ 0 | "                              |
| 46       | 3.1       | 1.0            | < 1 | -0.36             | ≠ 0 | "                              |
| 47       | 3.3       | 1.1            | =1  | -0.46             | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 48       | 3.3       | 1.1            | =1  | 0.05              | ≠ 0 | "                              |
| 49       | 3.4       | 1.0            | =1  | -0.02             | ≠ 0 | "                              |
| 50       | 3.6       | 0.7            | < 1 | 0.40              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 51       | 4.2       | 0.8            | =1  | 0.05              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 52       | 3.6       | 1.0            | =1  | -0.12             | ≠ 0 | "                              |
| 53       | 3.5       | 1.2            | >1  | -0.29             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 54       | 3.4       | 1.1            | =1  | 0.02              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 55       | 3.2       | 0.8            | =1  | -0.04             | ≠ 0 | "                              |
| 56       | 4.2       | 1.0            | =1  | 0.46              | ≠ 0 | "                              |
| 57       | 3.4       | 1.1            | >1  | -0.47             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 58       | 3.8       | 1.1            | =1  | 1.04              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 59       | 4.0       | 1.1            | =1  | 0.17              | ≠ 0 | "                              |
| 60       | 4.1       | 0.9            | < 1 | 0.48              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 61       | 3.4       | 1.2            | >1  | -0.49             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 62       | 2.9       | 1.2            | >1  | -0.39             | ≠ 0 | "                              |
| 63       | 4.0       | 0.9            | < 1 | 0.91              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 64       | 3.8       | 1.1            | =1  | 0.01              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 65       | 3.5       | 1.1            | =1  | 0.12              | ≠ 0 | "                              |
| 66       | 3.5       | 1.2            | >1  | -0.21             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 67       | 3.7       | 1.1            | =1  | 0.72              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 68       | 3.1       | 1.0            | < 1 | -0.23             | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 69       | 3.5       | 1.0            | =1  | 0.98              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 70       | 3.3       | 1.2            | >1  | 0.44              | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |

Continúa...

| Genotipo | Severidad | B <sub>1</sub> |     | S <sup>2</sup> di |     | Significado                    |
|----------|-----------|----------------|-----|-------------------|-----|--------------------------------|
| 71       | 3.6       | 1.1            | =1  | 0.53              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 72       | 3.6       | 1.1            | >1  | -0.51             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 73       | 3.6       | 1.0            | =1  | 0.48              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 74       | 4.2       | 0.9            | < 1 | 0.80              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 75       | 3.8       | 0.9            | < 1 | 0.71              | ≠ 0 | "                              |
| 76       | 3.9       | 1.1            | >1  | -0.13             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 77       | 3.8       | 1.1            | =1  | -0.03             | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 78       | 4.1       | 1.0            | =1  | 2.33              | 0   | "                              |
| 79       | 4.8       | 0.8            | < 1 | 1.13              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 80       | 4.5       | 0.8            | < 1 | 1.11              | ≠ 0 | "                              |
| 81       | 3.7       | 1.1            | >1  | -0.14             | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 82       | 3.3       | 1.0            | =1  | -0.26             | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 83       | 3.6       | 1.0            | < 1 | -0.33             | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 84       | 3.0       | 1.1            | >1  | 0.18              | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 85       | 3.8       | 1.0            | =1  | 1.26              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 86       | 3.0       | 1.0            | < 1 | 0.78              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 87       | 3.1       | 1.1            | =1  | -0.13             | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 88       | 3.6       | 1.0            | < 1 | 0.24              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 89       | 3.6       | 0.9            | < 1 | 0.94              | ≠ 0 | "                              |
| 90       | 3.5       | 1.1            | >1  | 0.14              | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 91       | 3.3       | 1.0            | < 1 | 1.23              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 92       | 3.7       | 0.9            | <1  | 1.71              | ≠ 0 | "                              |
| 93       | 3.3       | 1.1            | >1  | 0.16              | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 94       | 3.7       | 1.1            | =1  | 0.32              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 95       | 3.9       | 1.0            | < 1 | 0.67              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 96       | 3.6       | 1.1            | >1  | 0.19              | ≠ 0 | Buenos ambientes inconsistente |
| 97       | 3.1       | 0.9            | < 1 | 0.71              | ≠ 0 | Ambientes malos inconsistente  |
| 98       | 3.5       | 1.1            | =1  | 0.21              | ≠ 0 | Estable pero inconsistente     |
| 99       | 3.4       | 1.2            | =1  | 0.05              | ≠ 0 | "                              |
| 100      | 3.5       | 1.0            | =1  | 0.46              | ≠ 0 | "                              |

Cuadro 5A. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y la severidad de la pudrición carbonosa de parámetros de estabilidad de 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Veracruz y Tamaulipas, México.

| Fuente de variación            | g. l. | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F.calculada | Probabilidad |
|--------------------------------|-------|-------------------|------------------|-------------|--------------|
| Total                          | 1585  | 21209             | 13.38            |             |              |
| Ambiente                       | 15    | 13877             | 925.13           | 0.0667      | .001**       |
| Genotipo                       | 99    | 4446              | 44.90            | 0.0101      | .001**       |
| Interacción G x A              | 1485  | 3706              | 2.49             | 0.0007      | .001**       |
| Variedad (lineal)              | 1     | 31                | 31               | 1.0000      | .551NS       |
| Genotipo. x Ambiente. (lineal) | 99    | 2036              | 20.57            | 0.0101      | .001**       |
| Desviación Ponderada           | 1386  | 1639              | 1.18             | 0.0007      | .001**       |
| LER1                           | 14    | 83.69             | 5.98             | 0.07        | 0.983        |
| LER2                           | 14    | 87.03             | 6.22             | 0.07        | 0.990        |
| LER3                           | 14    | 78.66             | 5.62             | 0.07        | 0.972        |
| LER4                           | 14    | 66.45             | 4.75             | 0.07        | 0.887        |
| LER5                           | 14    | 44.92             | 3.21             | 0.11        | 0.877        |
| LER6                           | 14    | 82.16             | 5.87             | 0.07        | 0.847        |
| LER7                           | 14    | 45.87             | 3.28             | 0.07        | 0.373        |
| LER8                           | 14    | 79.66             | 5.69             | 0.04        | 0.888        |
| LER9                           | 14    | 67.95             | 4.85             | 0.07        | 0.589        |
| LER10                          | 14    | 93.36             | 6.67             | 0.07        | 0.977        |
| LER11                          | 14    | 77.88             | 5.56             | 0.09        | 0.861        |
| LER12                          | 14    | 60.71             | 4.34             | 0.07        | 0.561        |
| LER13                          | 14    | 77.31             | 5.52             | 0.07        | 0.998        |
| LER14                          | 14    | 81.73             | 5.84             | 0.07        | 0.976        |
| LER15                          | 14    | 46.12             | 3.29             | 0.07        | 0.791        |
| LER16                          | 14    | 65.50             | 4.68             | 0.07        | 0.857        |
| LER17                          | 14    | 57.48             | 4.11             | 0.08        | 0.843        |
| LER18                          | 14    | 78.07             | 5.58             | 0.07        | 0.827        |
| LER19                          | 14    | 68.69             | 4.91             | 0.07        | 0.479        |
| LER20                          | 14    | 45.40             | 3.24             | 0.11        | 0.841        |
| LER21                          | 14    | 80.90             | 5.78             | 0.07        | 0.999        |
| LER22                          | 14    | 74.44             | 5.32             | 0.07        | 0.952        |
| LER23                          | 14    | 40.03             | 2.86             | 0.13        | 0.256        |
| LER24                          | 14    | 50.49             | 3.61             | 0.07        | 0.862        |
| LER25                          | 14    | 55.66             | 3.98             | 0.06        | 0.956        |
| LER26                          | 14    | 70.91             | 5.07             | 0.07        | 0.384        |
| LER27                          | 14    | 81.75             | 5.84             | 0.07        | 0.590        |
| LER28                          | 14    | 30.84             | 2.20             | 0.19        | 0.893        |
| LER29                          | 14    | 74.38             | 5.31             | 0.07        | 0.902        |
| LER30                          | 14    | 53.61             | 3.83             | 0.07        | 0.623        |

Continúa...

|       |    |        |      | Continuación | Cuadro 5A. |
|-------|----|--------|------|--------------|------------|
| LER31 | 14 | 92.86  | 6.63 | 0.04         | 0.821      |
| LER32 | 14 | 89.24  | 6.37 | 0.07         | 0.978      |
| LER33 | 14 | 43.95  | 3.14 | 0.07         | 0.808      |
| LER34 | 14 | 51.23  | 3.66 | 0.06         | 0.984      |
| LER35 | 14 | 71.15  | 5.08 | 0.07         | 0.154      |
| LER36 | 14 | 94.69  | 6.76 | 0.07         | 0.998      |
| LER37 | 14 | 97.35  | 6.95 | 0.07         | 0.996      |
| LER38 | 14 | 65.97  | 4.71 | 0.07         | 0.529      |
| LER39 | 14 | 46.08  | 3.29 | 0.07         | 0.781      |
| LER40 | 14 | 89.78  | 6.41 | 0.04         | 0.908      |
| LER41 | 14 | 57.26  | 4.09 | 0.07         | 0.901      |
| LER42 | 14 | 51.93  | 3.71 | 0.07         | 0.843      |
| LER43 | 14 | 56.42  | 4.03 | 0.07         | 0.827      |
| LER44 | 14 | 33.07  | 2.36 | 0.07         | 0.569      |
| LER45 | 14 | 64.46  | 4.60 | 0.07         | 0.979      |
| LER46 | 14 | 62.74  | 4.48 | 0.07         | 0.992      |
| LER47 | 14 | 75.81  | 5.42 | 0.07         | 0.997      |
| LER48 | 14 | 83.38  | 5.96 | 0.06         | 0.921      |
| LER49 | 14 | 70.29  | 5.02 | 0.07         | 0.941      |
| LER50 | 14 | 29.96  | 2.14 | 0.07         | 0.766      |
| LER51 | 14 | 39.36  | 2.81 | 0.05         | 0.921      |
| LER52 | 14 | 71.29  | 5.09 | 0.07         | 0.963      |
| LER53 | 14 | 91.80  | 6.56 | 0.07         | 0.987      |
| LER54 | 14 | 80.05  | 5.72 | 0.08         | 0.930      |
| LER55 | 14 | 45.94  | 3.28 | 0.07         | 0.944      |
| LER56 | 14 | 75.06  | 5.36 | 0.07         | 0.738      |
| LER57 | 14 | 90.28  | 6.45 | 0.06         | 0.997      |
| LER58 | 14 | 75.89  | 5.42 | 0.07         | 0.408      |
| LER59 | 14 | 81.39  | 5.81 | 0.07         | 0.877      |
| LER60 | 14 | 59.78  | 4.27 | 0.10         | 0.727      |
| LER61 | 14 | 98.68  | 7.05 | 0.07         | 0.998      |
| LER62 | 14 | 99.18  | 7.08 | 0.07         | 0.994      |
| LER63 | 14 | 51.76  | 3.70 | 0.14         | 0.479      |
| LER64 | 14 | 83.33  | 5.95 | 0.07         | 0.932      |
| LER65 | 14 | 79.09  | 5.65 | 0.07         | 0.896      |
| LER66 | 14 | 103.45 | 7.39 | 0.05         | 0.978      |
| LER67 | 14 | 80.30  | 5.74 | 0.07         | 0.588      |
| LER68 | 14 | 65.51  | 4.68 | 0.07         | 0.981      |
| LER69 | 14 | 73.98  | 5.28 | 0.06         | 0.440      |
| LER70 | 14 | 105.65 | 7.55 | 0.07         | 0.745      |
| LER71 | 14 | 82.34  | 5.88 | 0.09         | 0.697      |
| LER72 | 14 | 84.31  | 6.02 | 0.07         | 0.998      |
| LER73 | 14 | 75.19  | 5.37 | 0.07         | 0.724      |
| LER74 | 14 | 53.18  | 3.80 | 0.10         | 0.542      |
| LER75 | 14 | 58.07  | 4.15 | 0.07         | 0.596      |
| LER76 | 14 | 87.45  | 6.25 | 0.07         | 0.965      |
| LER77 | 14 | 75.97  | 5.43 | 0.08         | 0.943      |
| LER78 | 14 | 74.94  | 5.35 | 0.07         | 0.048*     |

Continúa...

|                 |      |         |      | Continuación | Cuadro 5A. |
|-----------------|------|---------|------|--------------|------------|
| LER79           | 14   | 43.64   | 3.12 | 0.07         | 0.364      |
| LER80           | 14   | 39.14   | 2.80 | 0.08         | 0.373      |
| LER81           | 14   | 84.93   | 6.07 | 0.07         | 0.967      |
| LER82           | 14   | 73.08   | 5.22 | 0.07         | 0.983      |
| LER83           | 14   | 68.31   | 4.88 | 0.08         | 0.990      |
| LER84           | 14   | 85.99   | 6.14 | 0.07         | 0.872      |
| LER85           | 14   | 74.34   | 5.31 | 0.07         | 0.304      |
| LER86           | 14   | 65.14   | 4.65 | 0.08         | 0.555      |
| LER87           | 14   | 83.25   | 5.95 | 0.07         | 0.965      |
| LER88           | 14   | 69.23   | 4.95 | 0.07         | 0.846      |
| LER89           | 14   | 61.90   | 4.42 | 0.08         | 0.461      |
| LER90           | 14   | 89.74   | 6.41 | 0.07         | 0.887      |
| LER91           | 14   | 63.81   | 4.56 | 0.07         | 0.319      |
| LER92           | 14   | 51.02   | 3.64 | 0.09         | 0.150      |
| LER93           | 14   | 87.43   | 6.25 | 0.07         | 0.998      |
| LER94           | 14   | 77.56   | 5.54 | 0.08         | 0.457      |
| LER95           | 14   | 62.33   | 4.45 | 0.07         | 0.669      |
| LER96           | 14   | 84.82   | 6.06 | 0.07         | 0.874      |
| LER97           | 14   | 60.42   | 4.32 | 0.10         | 0.881      |
| LER98           | 14   | 83.55   | 5.97 | 0.07         | 1.000      |
| LER99           | 14   | 101.31  | 7.24 | 0.07         | 0.578      |
| LER100          | 14   | 71.21   | 5.09 | 0.10         | 0.702      |
| Error Ponderado | 1599 | 3052.54 |      |              |            |

g.l.= grados de libertad, CV coeficiente de variación NS no significativo, significativo .01\*\*significativo .05\*.

Cuadro 6A. Análisis de varianza del rendimiento de parámetros de estabilidad de 100 genotipos de frijol común en 16 ambientes de Veracruz México.

| Fuente de variación            | g. l. | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F.calculada | Probabilidad |
|--------------------------------|-------|-------------------|------------------|-------------|--------------|
| Total                          | 1585  | 101507549         | 64042            |             |              |
| Ambiente                       | 15    | 68642605          | 4576173**        | 0.0666      | .001**       |
| Genotipo                       | 99    | 3580905           | 36170**          | 0.0101      | .001**       |
| Interacción G x A              | 1485  | 16486574          | 11102**          | 0.00067     | .001**       |
| Variedad (lineal)              | 1     | 140148            | 140148           | 1.000       | .626NS       |
| Genotipo. x Ambiente. (lineal) | 99    | 9059898           | 91514            | 0.0101      | .001**       |
| Desviación Ponderada           | 1386  | 7293066.38        | 5209.            |             | .001**       |
| LER1                           | 14    | 282243            | 20160            | 0.071       | 0.913        |
| LER2                           | 14    | 208834            | 14917            | 0.097       | 0.937        |
| LER3                           | 14    | 241988            | 17285            | 0.071       | 0.958        |
| LER4                           | 14    | 149212            | 10658            | 0.071       | 0.145        |
| LER5                           | 14    | 63473             | 4534             | 0.168       | 0.025        |
| LER6                           | 14    | 178796            | 12771            | 0.071       | 0.998        |
| LER7                           | 14    | 250788            | 17913            | 0.071       | 0.043        |
| LER8                           | 14    | 217423            | 15530            | 0.082       | 0.008        |
| LER9                           | 14    | 427333            | 30524            | 0.071       | 0.045        |
| LER10                          | 14    | 424999            | 30357            | 0.071       | 0.962        |
| LER11                          | 14    | 369422            | 26387            | 0.082       | 0.740        |
| LER12                          | 14    | 321685            | 22978            | 0.071       | 0.948        |
| LER13                          | 14    | 274792            | 19628            | 0.071       | 0.600        |
| LER14                          | 14    | 334984            | 23927            | 0.059       | 0.743        |
| LER15                          | 14    | 437449            | 31246            | 0.071       | 0.988        |
| LER16                          | 14    | 364323            | 26023            | 0.071       | 0.739        |
| LER17                          | 14    | 551169            | 39369            | 0.047       | 0.988        |
| LER18                          | 14    | 367650            | 26261            | 0.071       | 0.193        |
| LER19                          | 14    | 346264            | 24733            | 0.071       | 0.968        |
| LER20                          | 14    | 208202            | 14872            | 0.119       | 0.794        |
| LER21                          | 14    | 394475            | 28177            | 0.071       | 0.977        |
| LER22                          | 14    | 540614            | 38615            | 0.071       | 0.806        |
| LER23                          | 14    | 271252            | 19375            | 0.142       | 0.651        |
| LER24                          | 14    | 419748            | 29982            | 0.071       | 0.663        |
| LER25                          | 14    | 431998            | 30857            | 0.069       | 0.208        |
| LER26                          | 14    | 387169            | 27655            | 0.071       | 0.951        |
| LER27                          | 14    | 352447            | 25175            | 0.071       | 0.748        |
| LER28                          | 14    | 419123            | 29937            | 0.060       | 0.612        |
| LER29                          | 14    | 423099            | 30221            | 0.071       | 0.440        |
| LER30                          | 14    | 357885            | 25563            | 0.071       | 0.980        |
| LER31                          | 14    | 493983            | 35285            | 0.052       | 0.346        |
| LER32                          | 14    | 376907            | 26922            | 0.071       | 0.813        |
| LER33                          | 14    | 195290            | 13949            | 0.071       | 0.902        |

Continúa...

|       |    |        |       | Continuación | Cuadro 6A. |
|-------|----|--------|-------|--------------|------------|
| LER34 | 14 | 384947 | 27496 | 0.036        | 0.810      |
| LER35 | 14 | 565399 | 40386 | 0.071        | 0.917      |
| LER36 | 14 | 289007 | 20643 | 0.071        | 0.997      |
| LER37 | 14 | 310979 | 22213 | 0.066        | 0.934      |
| LER38 | 14 | 318765 | 22769 | 0.071        | 0.681      |
| LER39 | 14 | 250794 | 17914 | 0.071        | 0.635      |
| LER40 | 14 | 311441 | 22246 | 0.058        | 0.993      |
| LER41 | 14 | 442543 | 31610 | 0.071        | 0.583      |
| LER42 | 14 | 182453 | 13032 | 0.071        | 0.999      |
| LER43 | 14 | 518140 | 37010 | 0.025        | 0.359      |
| LER44 | 14 | 587138 | 41938 | 0.071        | 0.778      |
| LER45 | 14 | 80096  | 5721  | 0.071        | 0.827      |
| LER46 | 14 | 328776 | 23484 | 0.017        | 0.937      |
| LER47 | 14 | 320323 | 22880 | 0.071        | 0.971      |
| LER48 | 14 | 337370 | 24098 | 0.068        | 0.641      |
| LER49 | 14 | 137635 | 9831  | 0.071        | 0.256      |
| LER50 | 14 | 422698 | 30193 | 0.071        | 0.301      |
| LER51 | 14 | 433407 | 30958 | 0.070        | 0.234      |
| LER52 | 14 | 169802 | 12129 | 0.071        | 0.239      |
| LER53 | 14 | 127297 | 9093  | 0.071        | 0.988      |
| LER54 | 14 | 555180 | 39656 | 0.016        | 0.670      |
| LER55 | 14 | 422166 | 30155 | 0.071        | 0.432      |
| LER56 | 14 | 570421 | 40744 | 0.071        | 0.717      |
| LER57 | 14 | 650591 | 46471 | 0.063        | 0.033      |
| LER58 | 14 | 630685 | 45049 | 0.071        | 0.998      |
| LER59 | 14 | 345326 | 24666 | 0.071        | 0.999      |
| LER60 | 14 | 284062 | 20290 | 0.087        | 0.826      |
| LER61 | 14 | 214016 | 15287 | 0.071        | 0.948      |
| LER62 | 14 | 258050 | 18432 | 0.071        | 0.705      |
| LER63 | 14 | 353843 | 25275 | 0.052        | 0.871      |
| LER64 | 14 | 321330 | 22952 | 0.071        | 0.982      |
| LER65 | 14 | 133616 | 9544  | 0.071        | 1.000      |
| LER66 | 14 | 273068 | 19505 | 0.035        | 0.840      |
| LER67 | 14 | 357624 | 25545 | 0.071        | 1.000      |
| LER68 | 14 | 786380 | 56170 | 0.071        | 0.461      |
| LER69 | 14 | 81240  | 5803  | 0.691        | 1.000      |
| LER70 | 14 | 330262 | 23590 | 0.071        | 0.965      |
| LER71 | 14 | 307080 | 21934 | 0.077        | 0.997      |
| LER72 | 14 | 91070  | 6505  | 0.071        | 0.973      |
| LER73 | 14 | 411933 | 29424 | 0.071        | 0.921      |
| LER74 | 14 | 665400 | 47529 | 0.044        | 0.673      |
| LER75 | 14 | 403002 | 28786 | 0.071        | 0.982      |
| LER76 | 14 | 355601 | 25400 | 0.071        | 0.967      |
| LER77 | 14 | 415125 | 29652 | 0.061        | 0.482      |
| LER78 | 14 | 320123 | 22866 | 0.071        | 0.989      |
| LER79 | 14 | 256996 | 18357 | 0.071        | 0.969      |
| LER80 | 14 | 395697 | 28264 | 0.046        | 0.967      |
| LER81 | 14 | 132116 | 9437  | 0.071        | 0.998      |

Continúa...



|                 |      |            |        | Continuación | Cuadro 6A. |
|-----------------|------|------------|--------|--------------|------------|
| LER84           | 14   | 256678     | 18334  | 0.071        | 0.998      |
| LER85           | 14   | 517384     | 36956  | 0.071        | 0.812      |
| LER84           | 14   | 256678     | 18334  | 0.071        | 0.998      |
| LER85           | 14   | 517384     | 36956  | 0.071        | 0.812      |
| LER86           | 14   | 365868     | 26133  | 0.101        | 0.179      |
| LER87           | 14   | 509804     | 36415  | 0.071        | 0.884      |
| LER88           | 14   | 215677     | 15406  | 0.071        | 0.784      |
| LER89           | 14   | 235187     | 16799  | 0.066        | 0.997      |
| LER90           | 14   | 182008     | 13001  | 0.071        | 0.988      |
| LER91           | 14   | 459994     | 32857  | 0.071        | 0.922      |
| LER92           | 14   | 584060     | 41719  | 0.056        | 0.941      |
| LER93           | 14   | 671285     | 47949  | 0.071        | 0.545      |
| LER94           | 14   | 361441     | 25817  | 0.133        | 0.997      |
| LER95           | 14   | 745077     | 53220  | 0.071        | 0.581      |
| LER96           | 14   | 379219     | 27087  | 0.071        | 0.894      |
| LER97           | 14   | 292827     | 20916  | 0.093        | 0.975      |
| LER98           | 14   | 189779     | 13556  | 0.071        | 0.912      |
| LER99           | 14   | 202142     | 14439  | 0.071        | 0.925      |
| LER100          | 14   | 501743     | 35839  | 0.029        | 0.993      |
| Error Ponderado | 1599 | 12795556.7 | 8002.2 |              |            |

g.l.= grados de libertad, CV coeficiente de variación NS no significativo, significativo .01\*\*significativo .05\*.